

**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**  
**FAKULTA TEXTILNÍ**

**STUDIE MOŽNOSTÍ APLIKACE SENZORŮ V ODĚVECH –  
SNÍMÁNÍ TEPLoty, VLHKOSTI, TĚLESNÝCH FUNKCÍ OSOBY**

**STUDY OF POTENTIAL APPLICATIONS OF SENSORS IN  
CLOTHING - TEMPERATURE , HUMIDITY AND PERSON  
PHYSICAL FUNCTIONS SENSORING**

**č. 689**

**LIBEREC 2006**

**MIROSLAVA HETZEROVÁ**

# **Technická univerzita v Liberci**

Fakulta textilní

Katedra oděvnictví

Školní rok: 2005/2006

## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

pro:

**Hetzerovou Miroslavu**

obor: 3106T005 Oděvní technologie

Vedoucí katedry Vám ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách určuje tuto diplomovou práci:

Název tématu:

**Studie možností aplikace senzorů v oděvech – snímání  
teploty, vlhkosti, tělesných funkcí osoby**

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte rešerši na téma aplikace elektroniky v oděvech.
2. Zaměřte se na problematiku vytváření vodivých cest integrovaných do textilií sloužících pro připojení senzorů či fungujících jako klávesnice.
3. Navrhněte vzor klávesnice, který by bylo možno vytvořit na povrchu tkaniny a zpracujte potřebné podklady pro její výrobu, zhotovte funkční vzorek.
4. Ověřte funkčnost, stabilitu vlastností a mechanickou odolnost vyrobené klávesnice.
5. Formulujte doporučení pro další vývoj.

Rozsah grafických prací:

Rozsah průvodní zprávy: cca 50 stran

Seznam odborné literatury:

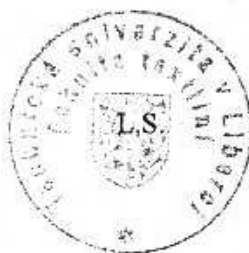
- [1] Sborníky konferencí z oblasti textilních materiálů, oděvnictví
- [2] Internetové materiály o projektu NTC

Vedoucí diplomové práce: Doc. Dr. Ing. Zdeněk Kůs

Konzultant:

Zadání diplomové práce: 22.11. 2005

Termín odevzdání diplomové práce: 15. 5. 2006



Doc. Ing. Antonín Havelka, CSc.  
zastupující vedoucí katedry

Prof. Ing. Jiří Militký, CSc.  
děkan FT

V Liberci dne: 22.11.2006

## **P r o h l á š e n í**

Prohlašuji, že předložená diplomová práce je původní a zpracovala jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem v práci neporušila autorská práva (ve smyslu zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

Souhlasím s umístěním diplomové práce v Univerzitní knihovně TUL.

Byla jsem seznámena s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé diplomové práce a prohlašuji, že s o u h l a s í m s případným užitím mé diplomové práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědoma toho, že užít své diplomové práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

V Liberci, dne 15. 5. 2006

*Michaela Křiváková*  
.....

Podpis



## **Poděkování**

Děkuji doc. dr. Ing. Zděnku Kůsovi, vedoucímu mé diplomové práce, konzultance Ing. Bc. Vieře Glombíkové, Ph.D. a Ing. Miroslavu Novákovi, Ph.D., za podnětné rady a připomínky při zpracování diplomové práce.

Za pomoc při řešení elektrotechnické stránky problému bych ráda poděkovala také Ing. Miroslavu Zahradkovi a Pavlu Švýcarovi.

## **Abstrakt**

Tato práce se zabývá studiem nositelné elektroniky, resp. elektronických textilií, jejich vývojem, způsoby tvorby a oblastmi jejich využití.

Součástí práce je experiment, který obsahuje návrh a vytvoření fyzického vzorku dané technologie, konkrétně klávesnice.

Klávesnice, která pracuje na principu spínače, je na dvou druzích nosné textilie vytvořena metodou sítotisku. K tisku byla použita stříbrem plněná vodivá pasta.

Součástí experimentu je ověření funkčnosti - jsou měřeny elektrické vlastnosti dané klávesnice, konkrétně elektrický odpor. Stabilita vlastností se ověřuje vystavením vzorku rozdílným teplotám a různým hodnotám relativní vlhkosti v klimatické komoře. Mechanická odolnost je hodnocena na základě tahových a ohybových zkoušek. Výsledné hodnoty jsou dále zpracovány.

## **Klíčová slova**

- elektrický odpor
- integrace
- inteligentní textilie
- klávesnice
- nositelná elektronika
- senzor
- vodivá cesta

## **Abstract**

The focus of this work is research of wearable computing, particularly of electronic textiles, their development, the ways of creation and domain of application.

The experimentation that includes project and creation of test sample of this technology, specifically keyboard, is part of this work.

The keyboard, working on the switch principle, is screen printed onto two different types of textile using conductive ink with silver filler. The functionality of the keyboard – the electrical properties, particularly electric resistance, is verified. Stability of properties is verified in climatic box by exposing the test samples to different temperature and relative humidity. Mechanic resistance is evaluated on base of tensile and bend tests. Results are consecutively compiled.

## **Keywords**

- electric resistance
- integration
- smart textile
- keyboard
- wearable computing
- sensor
- transmission line, conductive line

## OBSAH

Úvod	10
<b>1. Inteligentní textilie</b>	12
1.1 Kategorie inteligentních textilních struktur	14
1.1.1 Textilní čidla a snímače	14
<b>2. Oděv jako informační systém</b>	21
2.1 Napájení	22
2.2 Wearable computing	23
2.3 Elektronické oděvy	24
2.3.1 Vývoj elektronických oděvů	24
2.3.2 Integrace komponent	34
2.3.3 Bezdrátová technologie	36
<b>3. Funkce elektronických oděvů</b>	37
3.1 Senzory	37
3.1.1 Teplotní senzory	38
3.2 Zpracování dat	40
3.3 Pohon, zdroj energie	41
3.4 Ukládání dat	41
3.5 Komunikace	42
<b>4. Tvorba vodivých cest</b>	43
4.1 Vetkání vodičů a sběrníkových systémů přímo do textilií	43
4.2 Elektronická výšivka	44
4.3 Technologie vytvoření vodivé textilie potiskem vodivými pastami	45
4.3.1 Sítotisk	46
4.4 Přehled některých aplikací vodivých textilií	49
<b>5. Relevantní možnosti aplikace senzorů v oděvech</b>	52
5.1 Medicínské využití inteligentních elektronických textilií/oděvů	56
5.2 Vojenské využití inteligentních elektronických textilií/oděvů	59
5.3 Další možné oblasti využití inteligentních elektronických textilií/oděvů	61
<b>6. Experiment</b>	63
6.1 Etapy	63
6.1.1 Vytvoření klávesnice změnou odporu	65
6.1.2 Vytvoření klávesnice metodou snímače	67

6.2	Měření elektrického odporu	70
6.2.1	Podmínky měření	70
6.2.2	Metody měření	70
6.3	Ověření funkčnosti, stability vlastností a mech. odolnosti vytvořené klávesnice	73
6.3.1	Mechanická odolnost	73
6.3.2	Ověření funkčnosti, stability vlastností	75
6.4	Výsledky testů	76
<b>7.</b>	<b>Závěr</b>	100
	Přílohy	103

## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Parametry vodivého lepidla firmy Creative Materials
Příloha 2	Parametry vodivé pasty firmy Creative Materials
Příloha 3	Parametry sušící komory MEMMERT
Příloha 4	Parametry stroje Automatic Tensile & Shear Tester-KES-FB1
Příloha 5	Průběh namáhání na stroji KES-FB1
Příloha 6	Průběh namáhání na stroji KES-FB2
Příloha 7	Parametry stroje Automatic Pure Bending Tester - KES-FB2
Příloha 8	Parametry klimatizační komory Binder KBWF 240
Příloha 9	Parametry měřicí ústředny ALMEMO 2290-8
Příloha 10	Parametry multimetru HHM 290
Příloha 11	Vzorek klávesnice

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

MIT	Massachusetts Institute of Technology
LED	Světlem emitující dioda. Vyznačuje se malým jasnem, velkou životností i při vysoké teplotě, vysokým optickým výkonem a spektrální šířkou řádu 100 nm.
IZM	Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration v Berlíně
MP3	<a href="#">MPEG</a> -1 Layer 3 je formát <a href="#">ztrátové komprese zvukových souborů</a> , založený na kompresním algoritmu <a href="#">MPEG</a> (Motion Picture Experts Group). Při zachování vysoké kvality umožňuje zmenšit velikost <a href="#">hudebních</a> souborů v <a href="#">CD</a> kvalitě přibližně na desetinu.
LCD	Liquid crystal display
GTWM	Georgia Tech Wearable Motherboard
PSM	Novodobá verze tzv. „dog-tag“, identifikace na řetízku pro členy ozbrojených sil Spojených států pro 21. století.
SIDS	Syndrom náhlého úmrtí kojenců
EL	Elektroluminiscenční technologie
MEMS	Mikroelektromechanické systémy
PAN	Personal Area Network - osobní síť
FAN	Fabric Area Network - textilní síť
TDR	Time domain reflectometry - pulsní reflektometrie
GPS	Poziční a navigační systém
4 /0,75 C	číslo 3 nebo 4 značí počet vrstev vodivé pasty
3/ 1 A	číslo 0,75 nebo 1 značí šíři vodivých cest a mezer mezi nimi 0,75 mm nebo 1 mm
	symbol A,B,C,D rozlišení jednotlivých vzorků jedné kategorie

## ÚVOD

V současné době je evropský textilní trh doslova zahlcen výrobky ze zemí s nízkými výrobními náklady, a je tedy vystaven obrovské konkurenci při výrobě textilního masového zboží. Jednou z možností, jak v tomto prostředí uspět, je specializace na výrobu oděvů s vysokými užitnými vlastnostmi, které patří do kategorie tzv. inteligentních textilií (smart textiles).

Jednou z mohutně se rozvíjejících oblastí jsou smart textilie pro elektronické aplikace. Jedná se například o textilní klávesnice a klaviatury, displeje, indikátory, nebo o tzv. oblečací počítače (wearable computers) a oblečací elektroniku (mobilní telefony, přehrávače atd.). Používají se zde speciální materiály, vlákna z vodivých polymerů či vlákna kovová. Tyto aplikace využívají textilní techniky pro přípravu speciálních struktur, které jsou charakterizovány relativně snadnou tvarovatelností, jednoduchými způsoby spojování a oddělování a nízkou hmotností v porovnání s klasickými materiály, jako jsou například kovy. Elektronické textilie pro wearable computing poskytují značně větší prostor než materiály, které představují tradiční tuhé tištěné deskové elektrické obvody (PCB). Pružné desky s elektrickým obvodem, které jsou kompaktní a s vysokou hustotou elektrického spojení, nabízejí značně menší hmotnost, úsporu místa a financí. Elektronické textilie musí být ovšem také poddajné, pratelné, kompatibilní s lidskou kůží a esteticky přijatelné.

Elektronické textilie jsou většinou vodivé díky vetkání nebo vpletení vodivých přízí do textilní struktury během procesu výroby. Jednou z dalších možností, jak vytvořit flexibilní, pružné elektrické obvody, je použití vodivých inkoustů (past) k tisku na textilní substráty. Uplatňuje se také elektronická výšivka. Jde v podstatě o zabudování elektronických systémů přímo do oděvu. Miniaturní informační technologie jsou integrovány do oděvu na různých místech a přímo na těle je lze propojit do konkrétních komunikačních, počítačových či senzorových sítí. Variant elektronických inteligentních oděvů s rozdílnou technickou vybaveností lze vytvořit velké množství, protože možnosti inteligentních oděvů jsou takřka nevyčerpatelné.

Mohou např. monitorovat teplotu, vlhkost, záření nebo vibrace a obsahovat senzory či svítivé diody. Takovýto oděv také může v některých situacích aktivně zasáhnout, může např. usnadnit aplikaci léků. Kromě zdravotnických a vojenských aplikací mohou najít uplatnění také ve sportu, dopravě či kosmonautice.

Cílem této práce je průzkum stavu výzkumu a vývoje v oblasti aplikace elektroniky v oděvech, zejména s ohledem na problematiku vytváření vodivých cest. Jsou popsány hlavní způsoby tvorby vodivých cest. Důraz je kladen na tvorbu vodivých cest metodou potiskování textilií elektricky vodivými pastami, resp. inkousty. Součástí práce je návrh a zhotovení fyzického vzorku klávesnice jako ověřovacího vzorku technologie. Jeho funkčnost, mechanická odolnost a stabilita vlastností jsou ověřené řadou experimentů a zkoušek. Mechanická odolnost je hodnocena na základě jednorázových i cyklických tahových a ohybových zkoušek, stabilita elektrických vlastností je ověřována při různých teplotách a rozdílných hodnotách relativní vlhkosti prostředí. Získané výsledky těchto zkoušek jsou dále vyhodnoceny.



## 1. INTELIGENTNÍ TEXTILIE

Oděvy s vysokými užitnými vlastnostmi, mezi které lze elektronické textilie zařadit, patří do oblasti tzv. inteligentních textilií (smart textiles). Jsou to cíleně konstruované textilní struktury, které kromě běžných funkcí plní ještě funkce přídatné (elektrické, elektronické, fyzikální, chemické, biologické, fyziologické, optické a estetické). Jako inteligentní (smart) textilie jsou označovány takové textilní struktury, které jsou citlivé na vnější podněty (různé typy záření, pH, magnetické či elektrické pole atd.) a v závislosti na změnách těchto podnětů reagují vratně. Podle způsobu reakce na vnější podněty se tyto textilní struktury dělí na [1]:

- **pasivní inteligentní textilie:** Jsou to textilie, které jsou pouze citlivé na vnější podněty. Patří sem textilie, které fungují jako čidla a indikátory stavu okolí. Příkladem jsou optická vlákna, která nejen přenášejí optický signál, ale jsou zároveň citlivá na deformaci, koncentraci chemikálií, tlak, zrychlení, elektrický proud, magnetické pole apod. Mezi pasivní inteligentní textilie patří také tzv. oblékací elektronika – wearable computing. Textilie je zde jak nosičem, tak i součástí elektronických zařízení, což umožňuje její napojení na externí systémy umělé inteligence. Jedná se tedy o textilie protkané sítí vzájemně fyzicky i programově propojených mikroelektronických prvků. Současná technologie výroby mikrosoučástek dovoluje nejen sestavu takovýchto sítí na pevných podložkách, ale i na podložkách pružných a ohebných, tedy na textilních materiálech.
- **aktivní inteligentní textilie:** Jsou textilie schopné nejen identifikovat změnu vnějšího podnětu, ale také na tuto změnu reagovat. Příkladem jsou mimo jiné textilie, které mění svou barvu v závislosti na teplotě – tzv. chameleonní, termoregulační textilie – schopné uložení nebo uvolnění tepelné energie podle změn teploty okolí, textilie s tvarovou pamětí – s reverzibilními změnami tvaru při zahřátí nebo ochlazení textilie, textilie s variabilní prodyšností a propustností pro vodní páru a textilie stabilizující teplotu. Mezi aktivní inteligentní textilie se řadí i skupina vysoce aktivních textilií, které jsou schopné kromě indikace a reakce na změnu podmínek okolí také přizpůsobení se změněným podmínkám.

Intelligentní textilie se v řadě případů používají jako oděvní textilie zajišťující špičkový komfort (chrání proti teplotním výkyvům, upravují podmínky ventilace vzduchu a vodní páry) nebo usnadňují komunikaci, resp. použití běžných elektronických přístrojů (mobilní telefony, indikátory polohy, indikátory stavu člověka).

Intelligentní textilie se používají, resp. mohou používat jako:

- nosiče pohyblivých multimediálních technologií
- prostředky bezdrátové komunikace
- přenosné počítače
- aktivní dávkovací systémy – umožňující uvolňování různých substancí od kosmetických látek a léčiv přes vitamínové doplňky až k ochranným prostředkům proti hmyzu, bakteriím, virům apod. z oděvních textilií
- materiály pro diagnostikování poruch funkcí lidského organismu v oblasti medicíny s využitím bariérových schopností
- monitorování stavu člověka, životního prostředí
- inteligentní čidla pachů, plynů a bakterií ve vzduchu nebo ve vodě
- čidla mechanického působení, jako součást kontrolního systému nemocných osob nebo sportovců
- informační technologie, kde textilie kromě elektronických funkcí – náhrada klávesnice, dotykových podložek, desek plošných spojů, displejů a nosičů spotřební elektroniky – slouží pro ukládání dat, elektrické energie a jako nosiče mikromechanických systémů
- adaptivní materiály, měnící v závislosti na podmínkách okolí a stavu člověka strukturu, odstín, omak a další charakteristiky
- textilie pro vojenské účely. Jde zejména o ochranu vůči extrémním klimatickým podmínkám, znesnadnění identifikace – kamufláž, indikaci bojových plynů, bakterií, virů a ochranu proti nim, bariéry vůči magnetickým a elektrickým polím a záření různých délek.

Pro možnost zavedení těchto aplikací do praktického použití je třeba řešit problémy spojené s ergonomikou, komfortem, trvanlivostí, údržbou, výrobou, testováním a jejich likvidací.

Ve všech těchto aplikacích se využívá toho, že textilní struktury jsou:

- snadno upravitelné spojováním (šitím) a rozebíráním (páráním)
- snadno udržovatelné (praním)
- lehké
- dostatečně pevné, tažné a pružné
- jednoduše tvarovatelné podle požadavků na použití beze změn technologie výroby
- mají extrémně velký měrný povrch
- mají poměrně nízkou cenu v porovnání s ostatními technologiemi

## 1.1 Kategorie inteligentních textilních struktur [1]

1. Tepelně adaptivní textilie
2. Chameleonní textilie
3. Materiály s tvarovou pamětí a materiály citlivé na vnější podněty
4. Textilní čidla a snímače

### 1.1.1 Textilní čidla a snímače

Textilní čidla a snímače jsou jednou z kategorií inteligentních textilních struktur, které jsou schopné indikovat změnu stavu, resp. podmínek okolí. V oděvních aplikacích mohou být využity jako speciální zařízení pro monitorování a indikaci různých veličin. V této oblasti hodnotíme tyto schopnosti na různých úrovních:

- na úrovni vláken
- na úrovni textilií
- na úrovni oděvů

#### Vláknová čidla

Hlavním představitelem vláknových čidel jsou *optická vlákna*, která mohou indikovat řadu změn externích polí. Mají široké pole použití: od přenosu optického signálu, přes přenos informace o změnách teplot, magnetických a elektrických polí nebo informace o přítomnosti chemických látek.

Stejně jako optická vlákna se dají použít i *vlákna skleněná* s průměrem okolo 120  $\mu\text{m}$ . Dalším typem vláknových čidel jsou *elektricky vodivá vlákna*. Vodivá vlákna mohou být obecně rozdělena do dvou kategorií:

1. přirozeně vodivá vlákna: Přirozeně vodivá nebo kovová vlákna jsou vyvinuta z elektricky vodivých kovů, jako jsou slitiny železa, niklu, nerez oceli, titanu, hliníku, mědi a uhlíku. Kovová vlákna jsou velice tenká s průměrem v rozmezí 1–80  $\mu\text{m}$ . Vysoce vodivá kovová vlákna jsou drahá a jejich nestálé charakteristiky mohou občas poškodit spřádací zařízení. Kromě toho jsou těžší než většina textilních vláken, a proto je obtížné vyrobit jejich homogenní směs.
2. vlákna, která jsou k dosažení vodivosti speciálně upravena: Elektricky vodivá vlákna mohou být vyrobena pokrytím vláken kovy, galvanickými substancemi nebo solemi kovů, jako je např. síran měďnatý nebo jodid měďnatý. Kovové povrstvení vláken vytváří vysoce vodivá vlákna, ale problém mohou představovat adheze a odolnost proti korozi. Galvanické pokovení poskytuje relativně vysokou vodivost, ale může být použito pouze na substráty, jako jsou grafitová a uhlíková vlákna. Následkem složitosti výroby a vysoké ceny není galvanické pokovování obvykle využíváno pro textilní výrobky. Soli kovů lze použít pro různá vlákna s použitím tradičních textilních zařízení. Tímto způsobem lze ovšem dosáhnout jen nízké vodivosti, která je ještě více snížena během praní a žehlení. Toto omezení lze odstranit změnou procesu povrstvování.

### Textilní snímače

Pro vytvoření různých spínačů či přepínačů na bázi textilních struktur se používají jednak vlákna optická a jednak vlákna vodivá.

*Optická vlákna:* Využívají se k vyhodnocování polohy, a to v místě, kde je textilie stlačena. Jde například o tlakově citlivou textilií, která využívá speciálních čidel právě na bázi optických vláken. Hustá síť těchto vláken je obklopena deformovatelnou polymerní pěnou. Stlačením v určitém místě dojde k deformaci optických vláken a tím ke změně dráhy světelných paprsků a jejich odrazu. Je tedy možné rozlišit jak polohu, tak sílu přtlaku. Tyto textilie se využívají pro výrobu různých typů klávesnic a tlakových hlásičů. Optická vlákna se používají i v kompozitech, telekomunikacích, místních sítích, kabelové TV, optických vláknenných senzorech a vodivých textiliích

nesoucích signál ve formě pulsu nebo světla. Ačkoliv jsou světelná vlákna pevná a odolná proti slunečnímu záření, jsou relativně tuhá a mají nízkou pružnost, splývavost a odolnost proti oděru.

Drobná *elektricky vodivá vlákna* představují další způsob, jak vytvořit inteligentní elektronickou textilií. Tato vlákna byla už dříve využívána v průmyslových aplikacích ke kontrole statiky a sloužila jako clona elektromagnetického rušení. Mohou být vyráběna v různé délce a mohou být mísená s tradičními nevodivými vlákny a vytvářet tím příze, které se chovají a vypadají jako normální textilie.

Metody výroby vodivých vláken (přízí, nití):

- ✓ vyplnění vláken kovovými nebo uhlíkovými částicemi: Vyplnění textilních vláken mědí nebo solemi kovů, jako je síran měďnatý, také vytváří vodivou vrstvu. Vlákna vyplněná uhlíkem mají dobrou vodivost a jsou jednoduše vyrobitelná běžnými textilními systémy, zatímco vlákna vyplněná solemi kovů mají proměnlivou nižší vodivost.
- ✓ pokrytí povrchu vláken vodivými polymery nebo kovy: Chemické pokovení zahrnuje ponoření textilie do roztoku, kde chemické reakce vytvoří na povrchu typickou vrstvu niklu nebo mědi. Chemické pokovení vytváří rovnoměrnou elektricky vodivou vrstvu, ale je drahé. Co se týče výparné vrstvy, je textilní substrát vystavený odpařovanému kovu, hlavně hliníku, který kondenzuje na povrchu a vytváří vrstvu. Tento proces může zajistit široké rozpětí tloušťky vrstvy pro různé stupně vodivosti a relativně malou tloušťku vysoce vodivé výparné vrstvy pro vysoce vodivé a navíc lehké textilie.
- ✓ použití nekonečných nebo krátkých vláken, zhotovených z vodivých materiálů

Textilní substráty lze přetvořit v elektricky vodivé materiály bez podstatné změny vlastností existujících substrátů. Mohou být aplikovány nejen na povrch vláken, přízí, ale i celých textilií pomocí procesů, zahrnujících mimo jiné chemické (ne elektrolytické) ukládání kovových částic, čili chemickým pokovováním, výparným povlakem nebo vyplněním vláken a karbonizací. Textilní substráty mohou být také pro dosažení vodivosti pokryty vodivými polymery, jako je např. polyanilin a polypyrol. V současné době jsou tyto polymery používány pro vytvoření vodivé a antistatické

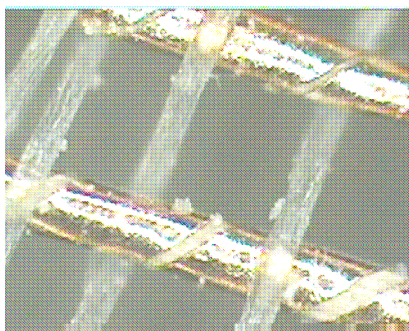
vrstvy na vláknech, textiliích a filmech. Tyto polymerní vrstvy jsou více vodivé než kovové a mají výborné adhezní a protikorozi vlastnosti, ale při použití běžných metod je jejich výroba obtížná.

Pro vytvoření vodivého materiálu se nejčastěji používají tkaniny s plátňovou vazbou. Plátňová vazba představuje nejzákladnější a nejjednodušší textilní strukturu a navíc takový druh materiálu poskytuje pevnou síť, resp. mříž jednotlivě přístupných kabelů (drátů, vedení), které mohou být použity pro základní přenosové cesty, stejně jako pro celé elektrické obvody.

Tkanina může obsahovat kovová vlákna pouze v jednom směru, tzn. pouze ve směru útku nebo pouze ve směru osnovy, nebo v obou směrech – jak ve směru útku, tak ve směru osnovy. Geometrie textilních materiálů je charakterizována komplexem hierarchické struktury: ze svazku vláken vznikne zakroucením příze, ta je utkána a vznikne tkanina. Všechna vlákna (i kovová) mají uvnitř příze šroubovitou orientaci. Pokud je příze vetkána do tkaniny, je pravidelně zvlněna, tzn. že délka kovových vláken je delší než délka tkaniny, u jemných vláken přibližně o 7,5 %. Na vodivost textilie mají vliv i nerovnoměrnosti polohy vláken uvnitř příze. Tyto odchylky jsou způsobené deformovatelností textilních materiálů a mírou volnosti výrobních procesů. Na úrovni vláken a přízí jsou to odchylky v průměru a hustotě a na úrovni tkanin jsou to rozdíly ve vzdálenosti mezi vlákny. Protože mají textilní materiály viskoelastické chování, vnitřní pnutí časem poleví a geometrie se může změnit (obzvláště při praní).

Plátňová vazba je topologicky podobná běžně zakrouceným pářům kabelů nebo koplanárním vlnovodům na deskách s tištěným vedením. Na základě toho mohou kovová vlákna ve směru osnovy sloužit jako signální linie a jedno nebo více vláken na každé straně signálu sloužit jako uzemnění. Prostor mezi uzemněním a signální cestou je dán konstrukcí textilie a nelze ho měnit. Nevýhodou tkaniny s kovovými vlákny ve směru osnovy i útku je to, že nevyužitá kovová vlákna, příčná ke směru přenosových cest, jsou nestálá a mohou vyvolat nežádoucí parazitický spojovací efekt.

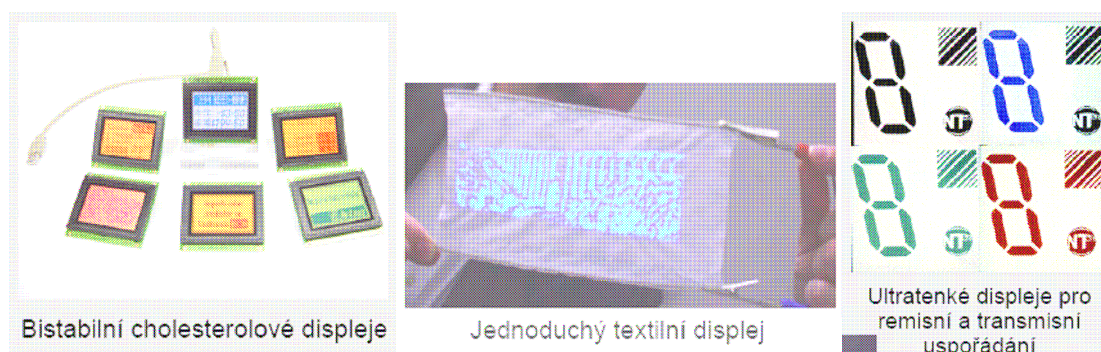
K výrobě elektricky vodivých textilií mohou být také využita kovová vlákna vytvořená ovinutím nevodivých vláken kovovou měděnou, stříbrnou nebo zlatou fólií. Příkladem této technologie je kovový organtýn (obr. 1) utkaný tak, že jednoduchá hedvábná zakroucená vlákna jsou ve směru osnovy a mědí ovinutá hedvábná vlákna ve směru útku. Hedvábí zajišťuje pevnost v tahu a odolnost při vysokých teplotách. To umožňuje, aby byl kovový organtýn našit nebo vyšit pomocí průmyslových strojů.



Obr. 1: Kovový organotýn [2]

Vodivé textilie musí být skutečným komunikačním médiem, čili musí být schopné vysílat a přijímat elektromagnetické vlnění.

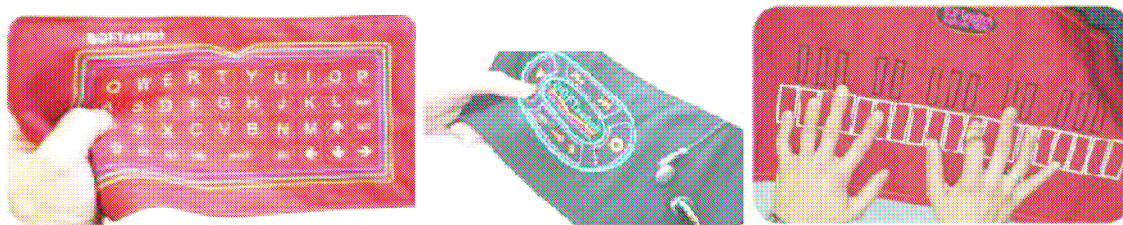
Pro výrobu dotykových podložek snímajících místo stlačení s vysokým rozlišením se používají také tkaniny obsahující v osnově i útku síť vodivých vláken spolu s vlákny klasickými. Jde o vícevrstevnou strukturu, obsahující vrstvu čidla, akčního členu, audio a video, vrstvu rozhraní, paměťovou vrstvu a další prvky. Vrstva čidel umožňuje sledování stavu člověka a jeho okolí. Pro vizualizaci těchto informací jsou k dispozici různé typy textilních displejů. Viz obr. 2. Pro jejich konstrukci se jako aditiva používají organické luminofory přidávané do polyamidových, polyakrylonitrilových, triacetátových či optických vláken. Lze využít i polypropylenová vlákna, do kterých jsou fotochromní látky dodávány jako pigment do taveniny. Z nich se pak vyrábí vyšívací nitě, které po ozáření UV mění barvu. Tyto materiály se používají nejen jako displeje, ale také jako čidla teploty, plynů a pH.



Obr. 2: Textilní displeje [3]

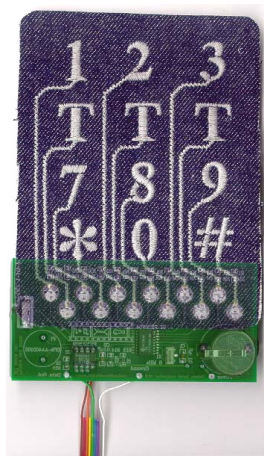
Výrobou takovýchto textilií se zabývá řada společností. Například firma **Peratech** [4] vyvinula elastomerní materiál obsahující jemné částice kovů. Tyto částice nejsou v nedeformovaném stavu v kontaktu, takže materiál je nevodivý. Při deformaci (stlačení, kroucení, protahování) se částice postupně přibližují, až dojde ke spojení, což má za následek spojitý pokles odporu až k vodivé struktuře. Dochází k efektu kvantového tunelování.

Textilní snímače polohy a tlaku se používají jako tkané displeje, přepínače a informační dotykové podložky či podložky u počítačů. Jsou také vhodné pro různé typy počítačových her z oblasti virtuální reality nebo jako náhrada klávesnic u hudebních nástrojů.



Obr. 3: Ukázky klávesnic a klaviatur [5]

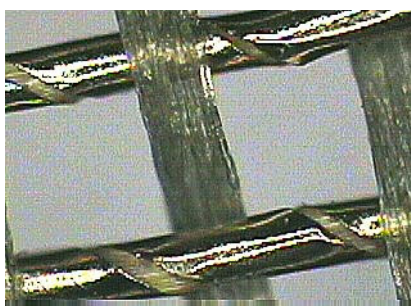
Textilní klávesnice vyvinutá v **MIT** [6] (obr. 4) je vyšíváná z kevlaru a ocelových drátků. Pro rozlišení místa dotyku využívá čidla kapacity elektrického náboje. Každé vyšité číslo je možné zaregistrovat stlačením.



Obr. 4: Vyšíváná klávesnice MIT [6]



Další typ klávesnice **Firefly** [1] (obr. 5) využívá dvou vrstev vysoce vodivé pokovené sítě vytvořené plátňovou vazbou s velmi nízkou dostavou, oddělené nevodivou polyamidovou sítkou. Jedna vrstva má vodivá vlákna v osnově a druhá v útku. Při stlačení na správném místě dojde k propojení útkové a osnovní sítě přes volný prostor v polyamidové síti a podle toku elektronů je umožněna identifikace místa stlačení. Tato klávesnice se dá mačkat, ohýbat, svinovat a prát bez porušení funkcí. Kromě aplikací v elektronice se dá tento princip použít také u světélkujících oděvů, kde v závislosti na pohybu nositele dochází ke spínání vodivých míst, která jsou napojena na světlem emitující diody (LED).



Obr. 5: Vodivá síť pro klávesnice Firefly [1]

Firma **Infineon** [8, 9] vyvinula inteligentní textilií, která je v podstatě samoorganizující se neuronová síť z počítačových čipů, integrovaných do textilního materiálu tak, že každý čip v plošném designu si vyměňuje informace se svými čtyřmi nejbližšími sousedy extrémně jemným, elektricky vodivým vláknem. Celá neuronová síť je schopná určité míry učení se a je tolerantní k chybám přenosu. Jestliže je např. některý čip nebo cesta mezi nimi poškozena, síť sama chybu odhalí a okamžitě se reorganizuje tak, že najde novou cestu přes nejbližší sousedy vadného spoje, takže tok informací není přerušen. Další výhodou je, že textilie může být rozřezána do jakéhokoli tvaru či velikosti, aniž by došlo ke ztrátě jejích elektronických funkcí.

Tento výrobek zahrnuje přímý zapouzdřený integrovaný kapacitní senzor, který se chová jako dotykový detektor a LED diody jako prvky displeje. Příkladem využití takovéto textilie je například koberec, který vybaven těmito čipy a s touto elektronickou strukturou může být používán jako detektor pohybu či požáru nebo upozornit na chvění budovy. Zároveň integrované LED diody podporují využití tohoto high-tech koberce jako kontrolního systému, který může být použit ve veřejných budovách k vyznačení

tras a ke kontrole pohybu návštěvníků a nebo k vyznačení únikových tras a východů v případě nebezpečí (obr. 6).



. Obr. 6: Příklady aplikací koberce se senzory a LED diodami [8]

## 2. ODĚV JAKO INFORMAČNÍ SYSTÉM

Využití oděvních textilií jako rozhraní pro předávání informací je velmi vhodné, neboť oděv tvoří integrální část člověka a doprovází ho během většiny činností po většinu času.

Stále častěji se hovoří a píše o nových druzích textilií, které jsou protkány sítí vzájemně propojených mikroelektronických prvků. Současná technologie výroby mikrosoučástek dovoluje sestavu takovýchto sítí i na pružných a ohebných textiliích. Takovéto textilie se pak uplatňují v řadě oborů. Zejména v oděvním průmyslu je však třeba vyřešit problém, jak tyto oděvy ochránit před vodou, a zejména pak, aby i po vyprání v automatické pračce zůstaly za všech okolností funkční. Snahou je zbavit elektronický oděv všech nepotřebných drátů, tzn. využít bezdrátových technologií, které budou schopné zajistit přenos velkých objemů dat a také se zbavit těžkých baterií a nahradit je lehkými, které navíc déle vydrží.

## 2.1. Napájení

Zajištění vhodného napájení je obecně jedním z problémů elektronické, tedy e-módy. Lze využít různé zdroje. Klasické řešení spočívá v umístění elektricky nabitých baterií do oděvu, což poněkud omezuje některé funkce oděvu a navíc vyžaduje dobíjení. Slibné jsou zejména nové, velmi tenké a pružné fóliové akumulátory, které se dají přímo integrovat do oděvu a mohou se trvale dobíjet solárními články, umístěnými nejlépe v oblasti ramen, kam dopadá nejvíce slunečního svitu. Viz obr. 7. Aby bylo možné solární články pružně přimknout k rameni, vyvinuli technici ústavu *IZM* inovované zapouzdření solárních článků, které se rozdělí do malých segmentů a zapustí do pružného substrátu [10].

Kromě solární energie lze také k nabíjení článků využít energii lidského těla, např. energii vznikající při pohybu nositele oděvu. Pro generaci elektrického proudu lze také použít fotovoltová vlákna. Jde vlastně o tři různé vrstvy amorfního křemíku umístěné mezi vodivými elektrodami. Vnější vrstva obsahuje dopant (látku, kterou se dopují polovodiče) chudý na elektrony. Fotony, které narazí na povrchovou vrstvu, rozptýlí elektrony, které přecházejí střední vrstvou do vrstvy vnitřní. Takto generovaný proud lze využít jako zdroj pro MP přehrávač, mobilní telefony a miniaturní počítače. Systém může být napájen i vysokofrekvenčním polem či indukční smyčkou. Technologie dodávání energie zajišťuje elektrickou energii pro aktivaci komponent v elektronické textilií.



Obr. 7: Možnost umístění solárních panelů [11]

## 2.2 Wearable computing [12]

Takzvaný „wíkom“ je počítačový aparát, který je umístěný tak, že tvoří součást, kterou sám uživatel i ostatní považují za uživatelskou součást. Tudíž není svázán s žádným AC výstupem, desktopem nebo podobně a není to ani samostatný objekt nebo skupina samostatných objektů nošených uživatelem.

Schopnosti počítačového aparátu jsou regulovány uživatelem. Tato regulace nevyžaduje povinně vědomou myšlenku nebo snahu, avšak centrum kontroly musí být v poli působnosti uživatele. Tímto způsobem se tento systém může chovat jako rozšířené uživatelské vědomí nebo tělo, jako protiklad k vzdálenému monitorovacímu nebo záznamovému zařízení nebo podobně.

Vzájemně působící provozní zpoždění zde neexistují, nebo jsou velmi malá a počítačový aparát je konstantní ve svých operacích a použitelný pro vzájemné působení s uživatelem.

Systém je charakterizován:

- provozní stálostí: pokud je wear computing nošený, je vždy aktivní. Může mít sleep mode (režim spaní), ale má schopnost se sám uvést v činnost a např. na základě nějakého citlivého přístroje monitorovat okolí (tj. může „spát“, ale nesmí nikdy „zemřít“).
- interakční stálostí: jeden nebo více výstupových kanálů jsou uživateli známé (např. jsou viditelné) po celou dobu a ne pouze tehdy, když je počítač záměrným způsobem interaktivován. Takto se souvislost mezi časovým přechodem mentálního zájmu a aparátem blíží nule.

V této souvislosti zřetelně vystupuje rozdíl mezi klasickým wearable computing – nositelnou elektronikou a tím, který je integrován do oděvu, resp. do nějaké oděvní součásti. Klasická nositelná elektronika je nositelná v tom smyslu, že je malá, skladná, neviditelná, resp. nerozpoznatelná pro okolí a uživatel ji nosí jako doplněk (např. brýle, obr. 8) nebo je toto zařízení někde vloženo (např. kapsa, ledvinka atd.) nebo ho má odnímatelně připevněné k části těla nebo oděvu (např. pásek kolem zápěstí).



Obr. 8: Wearable computing ve formě slunečních brýlí [12]

## 2.3 Elektronické oděvy

Naproti klasickému je oděvní wearable computing, tedy elektronická textilie, pokud možno trvalou součástí oděvu, tedy oděv jako celek je sám o sobě wearable computing. Takové elektronické zařízení však musí splňovat zvláštní požadavky. Vodivé textilní materiály používané pro oděvy musí být poddajné a pružné za účelem dosažení vysokého pohodlí při nošení. Tkaniny musí vykazovat nízké hodnoty odporu při ohýbání a stříhání, tzn. že musí být snadno deformovatelné, resp. tvarovatelné a musí snadno ovinovat postavu. Čím jsou oděvy těsnější, tím více musí být textilie poddajné. Z tohoto důvodu by měla být používána vlákna jemná ( $<1 \text{ g/km}$ ) a tkanina by měla mít nízkou plošnou hmotnost (cca  $150 \text{ g/m}^2$ , obvykle ne více než  $300 \text{ g/m}^2$ ). Tento požadavek je však v rozporu s materiálovou geometrií, která je potřebná pro elektrickou vodivost. Kovy, uhlík a vodivé polymery jsou poměrně tuhé a křehké materiály. Přesto lze tato vlákna zpracovat tak, aby je bylo možné použít v oděvech.

Textilie jsou schopné vnímat impulsy z okolního prostředí, reagovat na ně a přizpůsobit se jim pomocí integrace funkčních závislostí do textilních struktur. Tyto podněty (impulsy), stejně jako reakce, mohou mít elektrický, tepelný, chemický, magnetický nebo jiný původ.

### 2.3.1 Vývoj elektronických oděvů [13,14]

První generace inteligentních oděvů využívá tradičních materiálů a komponent a snaží se přizpůsobit návrh textilie tak, aby se slučoval s vnějšími elementy. Lze je

považovat za e-oděv, kde je elektronika přidána k textilií. Mnohá z těchto zařízení však byla těžkopádná, těžko manipulovatelná, přidávala textiliím na objemu a hmotnosti a činila je nepohodlnými a nepraktickými pro každodenní použití. Negativním jevem byla také jejich vysoká cena a nevhodné vlastnosti vztažené k jejich udržitelnosti, pružnosti a uživatelské bezpečnosti.

Příkladem je první oděv s „drátovou“ elektronikou. V této bundě je ukryto vnitřní vedení propojující mobilní telefon, MP3 přehrávač, vestavěný reproduktor, mikrofon a displej. Zařízení a kontrolní podložka mohou být před praním a žehlením odejmuty, ale vnitřní vedení a konektory odstraněny být nemohou, což omezuje možnost údržby. Tato bunda má také značné omezení, co se týče kompatibility a možnosti modernizace.

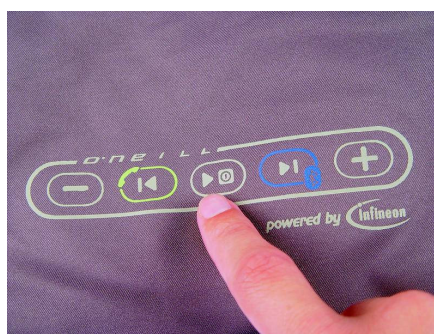
Prvním úspěšným krokem směrem k nositelnosti jsou inteligentní oděvní součásti, které koncem devadesátých let minulého století vzešly ze spolupráce firem **Philips** a **Levi Strauss & Co** [14]. Jde o spojení technologie LCD a kabelů a jedná se např. o bundu s integrovaným mobilním telefonem a přehrávačem MP3. Komunikace zde probíhá prostřednictvím mikrofonu a sluchátek zabudovaných v límci a k ovládání slouží miniaturní integrovaná klávesnice. Celý aparát, sestávající z mikrofonu, sluchátka, dálkového ovládání, mobilního telefonu a MP3 přehrávače, může být odejmut. V době vzniku se nevyžadovalo, aby všechny tyto komponenty, včetně drátů, byly bezpečně odstraněny před praním v automatické pračce. Toto omezení, týkající se údržby, vedlo k potřebě větší integrace.

Firma **Philips** později v rámci projektu Nomads vyvinula další prototypy, například kimono, které rozvádí elektrostatický náboj a dodává tělu povzbuzující impulsy. Navíc prostřednictvím senzorů sleduje aktuální tělesný stav a podle toho dávkuje příslušnou simulaci. Sportovní kolekce „Keep on moving“ sleduje výkony atletů a předává jim pokyny. Pro snowboardisty existuje kolekce Technosurfer, která mimo jiné obsahuje čidla sledující tělesnou teplotu, ohřívací prvky, zařízení varující před střetem s projíždějícími lyžaři a vysílání nouzového signálu pro případ úrazu.

**Infineon** [8] vyvinul miniaturní MP3 přehrávač, který může být jednoduše začleněn do oděvu. Toto pojetí zahrnuje centrální mikročip, sluchátko, baterii, kartu ke stahování hudby a propojení všech těchto komponent pomocí tkané vodivé textilie. Komponenty chrání robustní a voděodolný obal.



Obr. 9: Oděv firmy *Infineon* [8]



Obr. 10: Ukázka ovládání komponent pomocí klávesnice v oděvu firmy *Infineon* [8]

Netextilní komponenty však často způsobují jisté nepohodlí a propojení mezi textilií a netextilními komponenty je stále problematické. Ve druhé generaci jsou komponenty stále více integrovány do zcela textilních materiálů.

Vyvíjí se atraktivnější nositelná elektronika a vodivé materiály k přeměně tradičních textilií a oděvů v lehká, bezdrátová nositelná elektronická zařízení. K zajištění vodivosti a k vytvoření bezdrátových textilních elektrických obvodů se používají materiály, jako jsou kovová nebo optická vlákna, vodivá vlákna, příze, textilie, povrstvení a inkousty (resp. pasty).

V roce 1996 byl armádou USA zadán vývoj inteligentního trička pro vojáky, které by bylo schopné informovat o jejich stavu při zranění střelami nebo střepinami granátů.



Přitom bylo zadáno, že musí jít o prodyšný, lehký materiál, splňující požadavky komfortu při nošení a používání, včetně údržby (čištění).

Úkolu se zhostil **Georgia Institute of Technology** [15], kde byla realizována první „wearable motherboard“ – základní deska PC na světě pro vojenské účely. Georgia Tech Wearable Motherboard (GTWM) používá optická vlákna k odhalení zranění, způsobených střelou, a speciální senzory a propojení k monitorování lidských vitálních projevů během bojových podmínek.



Obr. 11: GTWM [15]

Bylo použito těchto materiálů:

- polypropylenové vlákno (s ohledem na měrnou hmotnost)
- polymerní optické vlákno pro detekci hloubky průniku střely nebo úlomků
- polyethylenem potažené měděné vlákno a polyamidová vlákna s anorganickými částicemi pro elektricky vodivé spojení
- polyuretanový elastomer (Spandex) pro zajištění mechanického komfortu a přiléhavosti
- Nega-stat pro zajištění rozptýlení elektrostatického náboje.

Použití nové technologie spočívá v tom, že si voják připevní senzory na tělo, oblékne si tričko, na které si opět připevní senzory. Tričko ve skutečnosti funguje jako počítač s umělými optickými a vodivými vlákny, vetkanými do všech částí trička. Skutečně jedinečným aspektem tohoto návrhu je to, že zde nejsou švy ani přerušování optických vláken, která se vinou tričkem odspoda nahoru. Signál je vysílán z jednoho

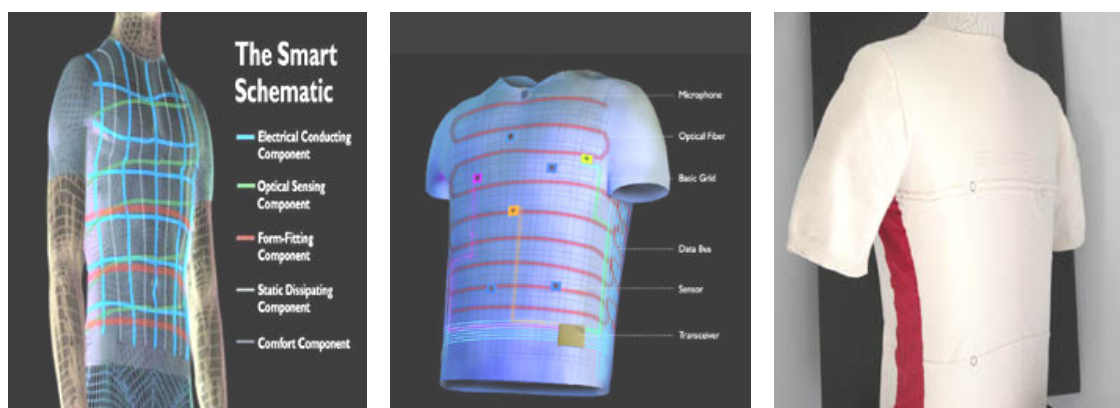


konce optického vlákna a je přijat na konci druhém. Pokud světlo z jednoho konce nedorazí k druhému konci, znamená to, že byl snímač přerušen, čili že voják byl zasažen střelou. Signál odražený zpět k prvnímu přijímači z bodu přerušení, resp. průniku pomáhá lékařům přesně vymezit místo vojákovy zranění. Přijímačem je osobní monitor stavu (PSM) – novodobá verze tzv. „dog-tag“ (identifikace na řetízku pro členy ozbrojených sil Spojených států) pro 21. století. Vojákovy životní funkce – srdeční puls, teplota, tlak krve atd. – jsou monitorovány dvěma způsoby: pomocí senzorů vetkaných do trička a pomocí senzorů na vojákově těle. Informace z PSM jsou pak elektronicky přeneseny do určitého lékařského centra.

Tohoto způsobu se dá využít i pro jiné než vojenské aplikace, a to např.:

- NASA může použít odlehčené části oděvu k monitorování životních funkcí kosmonautů
- tyto snímače mohou používat atleti k dosažení optimální srdeční a dechové rychlosti během tréninku
- možnost začlenění do dětských pyžam za účelem tichého monitorování rychlosti dechu dítěte a tím se vyhnout SIDS.

Tato GTWM (Smart Shirt [16]) je univerzálním systémem pro začlenění senzorů, monitoringu a informačních zařízení. Hlavní výhodou Smart Shirt je, že poskytuje velmi systematický způsob monitorování vitálních projevů člověka nevtíravým způsobem. Vhodný senzor je zapojený k této základní desce použitím rozvinuté spojovací technologie a je připojený k jakékoliv části těla jednotlivce, který je monitorován, a tím je vytvořeno flexibilní nositelné monitorovací zařízení. Flexibilní nosič dat, zabudovaný do této struktury, přenáší informace k monitorovacímu zařízení, jako je např. EKG, záznamník teploty, záznamník hlasu atd. Tento nosič dat také slouží k přenosu informací k senzoru (čili k nositeli) z externích zdrojů, čímž se Smart Shirt stává hodnotnou informační infrastrukturou. Je odlehčené a může ho nosit kdokoli – od dětí po seniory. Smart Shirt má enormní potenciál pro aplikace v oblastech, jako je telemedicína (léčba na dálku), monitorování pacientů v pooperační rekonvalescenci, jako prevence SIDS (syndrom náhlého úmrtí novorozenců) a v oblastech monitorování kosmonautů, atletů, policistů či vojáků v boji.



Obr. 12: Smart Shirt – třetí generace GTWM [16]

Technologie propojení byla vyvinuta k přenosu informací ze senzorů a do senzorů připevněných na jakémkoliv místě těla, čímž vznikla flexibilní nosičová struktura. T konektory, podobné knoflíkům, používaným v oblečení, jsou připevněny k vláknům, která slouží jako nosiče dat, přenášející informace od senzorů (např. EKG senzory) na těle. Senzory jsou zapojeny do těchto konektorů a druhý konec je použit k přenosu informací do monitorovacího zařízení. Tím, že se senzory oddělily od zařízení, se jednoznačně zvětšila univerzálnost GTWM (Smart Shirt). Senzory nezpůsobují žádná omezení a oděv navíc může být vyprán a vyžehlen bez poškození senzorů. Do textilní struktury mohou být integrovány kromě optických a speciálních vláken, která slouží jako senzory a nosiče dat a informací od nositele k monitorovacímu zařízení, také senzory, sloužící k monitorování úrovně (rychlosti) dechu, což jasně ukazuje schopnost přímého začlenění senzorů do oděvních součástí.

Třetí generace GTWM je vyrobena také jako pletená verze. Do struktury mohou být mimo mikrofónu pro přenos nositelova hlasu k monitoringu polohy jednoduše integrovány i další senzory – např. pro hasiče je to senzor, detekující hladinu kyslíku nebo nebezpečných plynů. Informace související s vitálními projevy mohou být přenášeny do centra, kde určený pracovník může takto sledovat kondici hasičů a dávat jim vhodné instrukce včetně příkazů k vyklizení prostoru, pokud je to nutné.



Obr.13: Ukázka GTWM [17]

Sblížením oděvu a integrované elektroniky se zabývá také firma **Softswitch** [5]. Textilie SOFTswitch jsou „citlivé na dotek“ – pokud se mechanicky zdeformují nebo stlačí, vykáže se velká změna v ohmické rezistenci, která je úměrná vyvinutému tlaku (síle). Tato úměrná odpověď umožňuje, aby byly SOFTswitch textilie efektivně využity jako spínače i jako tlakové senzory, reagující na nejjemnější dotek nebo nejsilnější úder. Při použití si ponechávají výhody textilií: lze je prát a udržovat, jsou odolné, trvanlivé a lze je prostorově tvarovat. Současně poskytují funkčnost elektronické kontroly – např. umožňují snowboardistům kontrolovat iPod pomocí rukávu nebo lékaři identifikovat, kdy a kde je pacient v nebezpečí. Viz obr. 14.

Firma **Softswitch** se zabývá integrací elektroniky nejen do sportovního oblečení, ale také do oděvů pro armádu, neformálních oděvů a doplňků.

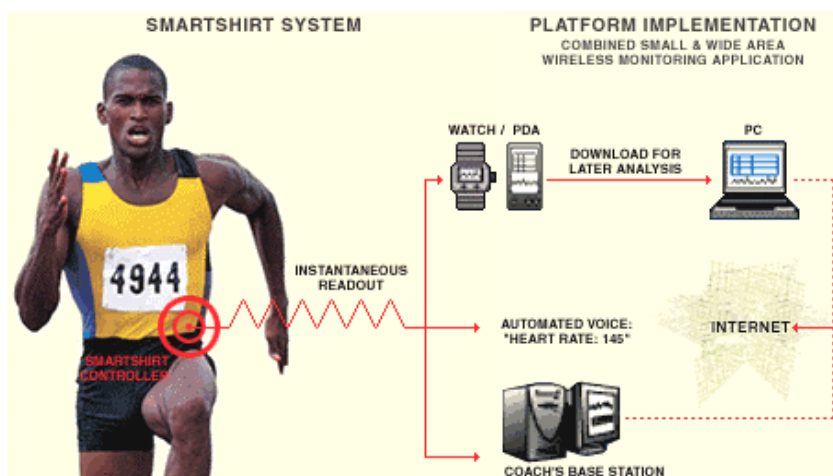


Obr. 14: Ovládání klávesnice v oděvu firmy Softswitch [5]

Dalším, kdo se soustřeďuje na rozvoj Smart textilních systémů, je firma **Sensatex, Inc.** [16]. Jejich prvním komerčním produktem byl SmartShirt Systém, což je nositelný fyziologický informační řídicí program pro získání a řízení informací, obdržených z lidského těla. Ve spolupráci s **Georgia Institute of Technology** a s finanční podporou DARPA (Defense Advance Research Projects Agency) vytvořila pro ministerstvo obrany USA SmartShirt, což je oděvní součást, tkaná nebo pletená, zahrnující systém patentovaných vodivých vláken/senzorů, navržené speciálně s cílem získat biometrické informace o srdečním pulsu, dýchání a teplotě. (Viz GTWM).

Tato technologie může být včleněna do jakéhokoliv vlákna (bavlna, lycra, vlna, hedvábí atd.) nebo může být s vlákny smíšená, aniž by ovlivnila vzhled, omak nebo celistvost vláken, která byla nahrazena. SmartShirt System zahrnuje Wearable Motherboard Smart Shirt, originální elektro-optické zařízení, které poskytuje extrémně všestranný systém pro pozorování, monitoring a proces zpracování informací a může být použita pro široké spektrum výrobků.

Lze ho použít nejenom v oblasti zdravotní péče. Athletic SmartShirt (obr. 15) může být použito pro atlety se snahou maximalizovat jejich trénink a výkon. Athletic SmartShirt System dovoluje pohodlné měření a/nebo monitorování osobních biometrických dat, jako je např. srdeční tep, dechový puls, resp. rychlost dechu, tělesné teploty, spálených kalorií, přičemž informace o aktuálním stavu poskytuje prostřednictvím náramkových hodinek, PDA/smart telefonu nebo hlasu. Biometrická data jsou rádiově vysílána do osobního počítače a nakonec na internet.



Obr. 15: Athletic SmartShirt [16]

Také společnost **Canesis Ltd** - Smart Textiles Innovation Centre (STIC) se zabývá vývojem vysoce funkčních systémů, které jsou integrované do textilií a s použitím běžných výrobních postupů vytváří flexibilní, pratelné a trvanlivé produkty [18]. Jejich vývoj zahrnuje:

- integraci elektronických systémů do nositelných textilních systémů
- textilní senzory, snímající mechanické vlivy a okolní prostředí
- vnitřně vodivé polymery
- citlivé materiály pro adaptivní textilie a řízení
- iluminační a vodivé textilie: společnost se zabývá vývojem a výrobou textilií, zahrnujících elektroluminiscenční technologie (EL). Vznikají tak tkaniny, které „svítí“ a které si přesto zachovávají podstatnou část své flexibility a splývavosti (obr. 16). Oblast využití této technologie je velmi široká – od vysoce viditelných zařízení, přes nové součásti pro dětské oblečení nebo dokonce textilní obrazovky. **Canesis Ltd** také spolu s univerzitami a výrobcí vyvíjí senzory na bázi vodivých textilií pro léčebné a technické aplikace.



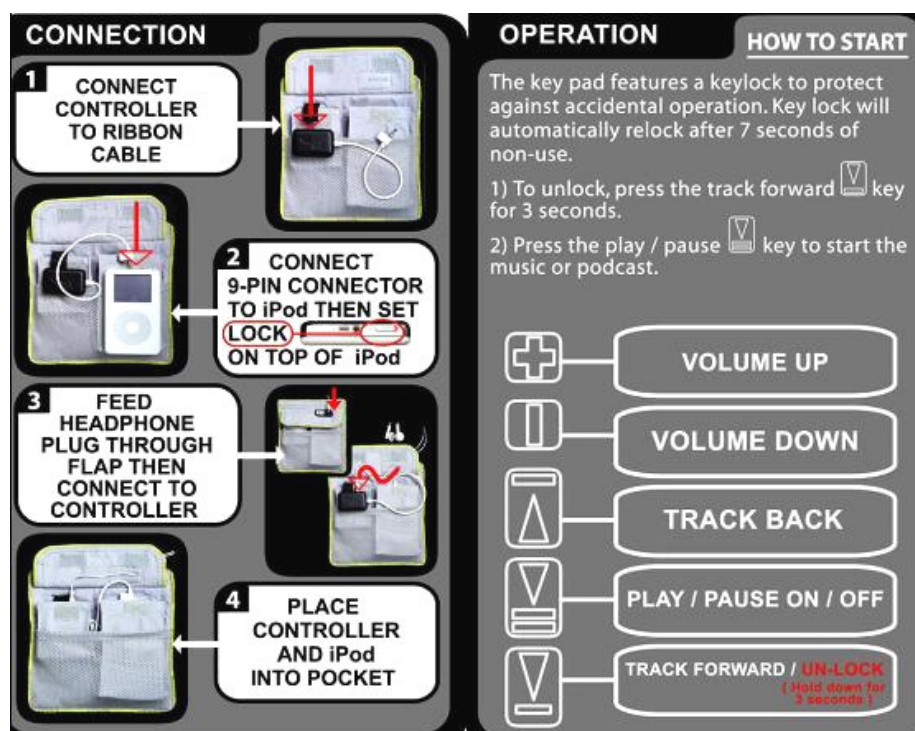
Obr. 16: Fotoluminiscenční technologie – textilie a oděv firmy **Canesis Ltd** [18]

Firma **Eleksen** [19] vyrábí klávesnice a audiopřehrávače zabudované v oděvních součástech a batozích.



Obr. 17: Bunda iPod, vyrobená ve spolupráci s firmou *Kenpo* a detail klávesnice [19]

Výrobky Elektex mají řídicí obvod Elektex (silný 0,6 mm), který pracuje pod úrovní vrchní textilie a může být voděodolný. Grafické znaky mohou být na textilií natištěny pomocí sítotisku nebo vyšity. Neobsahují žádné vedení, protože Elektex je 100% textilní od tlačítka po spojení s iPod. Řídicí obvod Elektex má mechanismus automatického zamčení, který zamyká tlačítka po 7 vteřinách, pokud nejsou v činnosti. To zamezuje bezděčné aktivaci řídicího obvodu při lyžování, snowboardu nebo pouhé procházce.



Obr. 18: Schéma spojení a popis funkcí systému Elektex [19]



V oděvech je použita patentovaná technologie smart textilních tlačítek, ovládaných dotykem, která přeměňuje rukáv v pětiknoflíkový elektronický regulační panel.



Obr. 19: Elektronický regulační panel [19]

### 2.3.2 Integrace komponent

Jedním ze způsobů vytvoření inteligentní vodivé textilie je kromě přímého použití vodivých materiálů integrace elektronických komponent a zařízení pro dodávku energie do textilie. Mezi komponenty patří např. zařízení pro vstup a výstup, senzory a zařízení pro dodávky elektrické energie. Vstupní zařízení zahrnují kromě klávesnice např. i systém pro rozpoznání řeči nebo písma. Výstupní technologie zahrnují obrazovku CRT (stínítko i trubice), LCD displeje (displeje s kapalnými krystaly), zrcadlové displeje a flexibilní světelné displeje.

Pro integraci do textilií s využitím nanotechnologií (také známých jako mikrostroje, nanostroje nebo převodníky, které mají velikost menší než  $1 \text{ mm}^2$  a obvykle obsahují mechanické mikrostruktury, mikrosenzory, mikropohonná zařízení a elektroniku integrovanou do jednotlivých čipů) mohou být použity počítače, senzory a elektronická zařízení molekulové velikosti. MEMS – mikroeletromechanické systémy mohou teoreticky sloužit jako smart sensory právě pro inteligentní elektronické textilie.

Integrace komponent do textilních elektrických obvodů [20]:

1. Letování (pájení) je připevnění komponent přímo na povrch textilie. Používají se k němu lehké slitiny olova (Pb), cínu (Sn) a někdy stříbra (Ag). Tyto složeniny

však nejsou vhodné pro takové aplikace, ve kterých by mohly být ve stálém kontaktu s lidským tělem s ohledem na jejich toxicitu. Navíc, i když je možné letovat komponenty na kovový organotýn a dosáhnout tím velmi dobrého elektrického spojení, mechanické vlastnosti v ohybu spojení jsou pro oděvní aplikace nevyhovující. Kromě toho se dělají ústupky, co se týče pružnosti textilie, a tím se textilie stává nevhodnou pro použití v oděvních aplikacích.

2. chemické navázání komponent na substrát použitím vodivých adheziv čili spojování pomocí chemické vazby: vodivá adheziva jsou pro tyto aplikace vhodnější než pájení, protože je možné použít adheziva, která jsou netoxická, vysoce vodivá, vysoce odolná a přiměřeně pružná, aby mohla sloužit jako „mechanické impedanční spojení“ mezi pružným textilním substrátem a tuhými komponenty. Spojování pomocí chemické vazby zahrnuje použití vodivých adheziv k zasazení komponent do textilního substrátu.
3. včlenění komponent do vodivých šitých elektrických obvodů pomocí svorek/sponek (stiskacích patentů): svorkové komponenty jsou zajímavým kompromisem, kde komponenty svírají šité vodivé cesty a jsou vtištěny do tvaru okolo nich. Stiskací patenty vytváří výborné spojovací články mezi textilií a elektronikou. První díl má několik kovových zubů, které proniknou substrátem a některými vodiči, pokud je dvoudílný patent umístěn na textilii, a vytvoří tak třetí kontakt, který prochází povrchem znečišťující látky (např. oxidů) a vzniká vazba kov-kov. K vytvoření elektronických textilních obvodů lze použít také komponenty všité do šitých elektrických obvodů. Pokud je substrát protahován nebo ohýbán, nejsou vodivé cesty omezovány v pohybu. Avšak takové protažení napíná části upnutí komponentu na substrát a urychluje opotřebení textilie.
4. nápojení komponent přímo provlékáním nití šitým textilním obvodem (kde komponenty jsou vytvořeny jednou vodivou nití na svorku). Připojování zahrnuje také připojení konstrukce elektronických vláknenných komponent přímo k šitému textilnímu elektrickému obvodu. Vláknena (nitě) vedoucí z elektronických komponent mohou být našita, protažena dírkami nebo vetkána do substrátu, čímž je vodivým vláknem vymezena specifická lokace a tím i pravidelné uspořádání.



### 2.3.3 Bezdrátová technologie

Za účelem zjednodušení spojení mezi elektronickými zařízeními se využívá nová technologie. Obecně používaná bezdrátová zařízení, jako je např. celulární telefon a pager, využívají vysokofrekvenční radiový kmitočet místní sítě. Avšak omezené spektrum radiového kmitočtu bývá rychle zaplněno. Osobní síť (PAN – Personal Area Network) poskytuje alternativu, umožňující elektronickým zařízením změnit digitální informace, sílu (energii) a řídicí signály uvnitř uživatelova osobního prostoru. PAN využívá přirozenou elektrickou vodivost lidského těla k průchodu velmi nepatrného množství proudu tělem. Tento proud může přenášet data rychlostí přibližně 400 000 bitů za vteřinu a je menší než přirozený lidský proud, změřený jako 1 nanoampér. Pro srovnání, elektrické pole vytvořené při průchodu hřebenu vlasů je 1 000x větší než proud používaný v technologii PAN. Modulární zařízení podporující sdílené funkce může být spojeno s PAN. Nový standard vysokofrekvenčního radiového kmitočtu umožňuje elektronickému zařízení vytvořit síť a komunikovat automaticky bez drátů, kabelů nebo jiné přímé uživatelské akce.

Bezdrátová technologie se stává svým způsobem veřejnou záležitostí, protože radiový kmitočet je vysílán ve všech směrech, a tudíž je vysílán i do těla. K překonání obav o zdraví zkoumají vědci možnosti, jakou je např. FAN – Fabric Area Network – textilní síť. FAN využívá bezdrátového komunikačního spojení přes radiový kmitočet, ale komunikační oblast je omezena pouze na povrch textilie, čímž se zabrání průniku záření do těla.

Smart textilie jsou schopné vnímat impulsy z okolního prostředí, reagovat na ně a přizpůsobit se jim pomocí integrace funkčních závislostí do textilních struktur. Tyto podněty (impulsy), stejně jako reakce, mohou mít elektrický, tepelný, chemický, magnetický nebo jiný původ.

### 3. FUNKCE ELEKTRONICKÝCH ODĚVŮ

5 základních funkcí inteligentních elektronických oděvů [21]:

1. senzory
2. zpracování dat/informací
3. poháněcí zařízení
4. ukládání dat
5. komunikace

Všechny smart textilie, resp. oděvy mají svoji funkci, ačkoliv ne každý musí obsahovat všechny uvedené funkce. Jsou to buď funkce nějakého zařízení, nebo jsou to vnitřní vlastnosti nějakého materiálu nebo struktury a musí být kompatibilní s funkcí oděvu: musí být pohodlné, trvanlivé, odolné proti pravidelné údržbě atd.

#### 3.1 Senzory

Senzory (čidla) jsou malá elektronická zařízení, která mohou přijímat a reagovat na stimul, a tím umožňují spojení mezi textilií a uživatelem. Je to zařízení, které přeměňuje veličinu na elektrický signál. Mohou být buď k textilii připevněné, nebo mohou být včleněné do textilního substrátu.

Senzor zachycuje charakteristiky lidského těla nebo okolního prostředí. Je jasné, že např. u dopravního prostředku není potřeba monitorovat okolní prostředí, stejně jako je jednodušší včlenit senzory do samotného vozidla, kde mohou být přímo napojené na zdroj energie, procesní jednotky a komunikační systémy. Na druhé straně textilie jsou v přímém kontaktu s lidským tělem, takže textilní senzory jsou dobrým nástrojem pro měření různých projevů lidského těla – tzv. biosignály, mimo jiné:

- teplota
- biotické potenciály: kardiogram, myografie (záznam svalových kontrakcí)
- akustické biosignály: srdce, plíce, trávicí soustava, klouby
- ultrazvuk: krevní oběh
- pohyb: dýchání

- vlhkost: pot
- tlak: krevní tlak

V tomto ohledu je potřeba najít vhodné parametry pro měření určitých tělesných funkcí, stejně jako nalézt algoritmus pro výklad těchto dat. V současnosti se již oděvy používají pro měření srdečního pulsů a rychlosti dechu, teploty, pohybu, vlhkosti, ale používají se tradiční senzory integrované do oděvu. Senzory a textilní senzory se obecně řečeno potýkají zejména s těmito problémy:

- pružnost a tvarovatelnost, vyžadovaná pro pohodlí nositele, stejně jako změna kontaktu při pohybu nositele, která je na překážku stabilitě senzorů
- signály mají tendenci mít relativně nízkou amplitudu (např.  $\mu V$ )
- dlouhodobá stabilita je ovlivněna nošením a údržbou

### **3.1.1 Teplotní senzory**

#### Teplotní komfort

Pocit pohodlí je pro člověka důležitý nejen sám o sobě, ale ovlivňuje také jeho výkon. Úroveň pohodlí je do jisté míry určována mikroprostředím, ve kterém se člověk nachází. Je to soubor všech negeneticky určených proměnných, jako je teplota prostředí, vlhkost vzduchu, rychlost proudění vzduchu apod. Každý člověk je neustále v reakci s tímto fyzickým mikroprostředím. Tyto reakce jsou známé jako biotické odezvy – signály, jako je teplota kůže, úroveň pocení, srdeční puls, koncentrace prachu ap. Z tohoto důvodu biosignály obsahují hodnotné informace odrážející mimo jiné to, jak lidský metabolismus reaguje na okolní prostředí, ve kterém člověk žije, bydlí a pracuje.

Potřebné a doplňující kroky k dosažení optimálního komfortu jsou:

- přímo napojený monitoring lidských biotických projevů: zkušenost s tradičními monitory životních projevů je taková, že jsou pro nositele rušivé a mohou při delším používání způsobit podráždění kůže. Tyto nevýhody mohou překonat právě textilní senzory.

- není stále k dispozici definice ukazatele komfortu, založená na monitorování životních projevů
- aktivní kontrola mikroprostředí používá ukazatel pohodlí, což vyžaduje plynulou zpětnou vazbu na informace z nejdůležitějších procesních částí v jakémkoli momentě a přesnou odpověď nebo model statických a dynamických životních projevů.

Požadavek na širokou integraci teplotních snímačů vytváří poptávku po vysoce spolehlivých senzorech s miniaturními rozměry a malou pořizovací cenou. Stále žádanějšími se díky své vysoké flexibilitě geometrických i elektrických vlastností ve spojení s vysokou výkonovou zatížitelností stávají implementace snímačů vytvořených technologií tlustých vrstev.

#### Tlustovrstvé teplotní senzory [22]

Používají se jako dotykové teploměry pro přímé měření teploty, jako převodníky při měření jiných fyzikálních nebo chemických veličin a jako vestavěné kompenzační prvky elektronických obvodů.

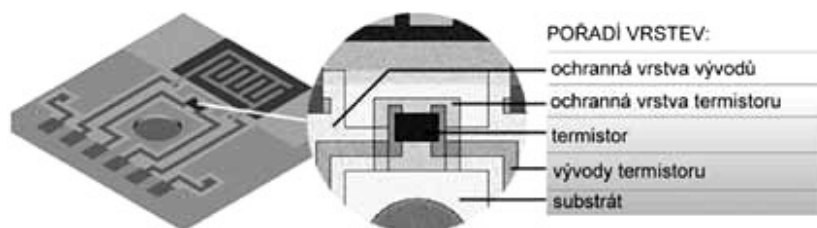
Smyslem vrstevných technologií je vytvoření filmu určitého materiálu (v případě senzoru snímacího) na vhodné podložce – tzv. substrátu. Existují dva základní přístupy k vytvoření vrstvy žádaného materiálu:

- nanesení funkčních částic některou z fyzikálních nebo chemických depozičních metod = *tenkovrstvá* technologie
- nanesení pasty složené z funkčních, pojivových, vazebních a modifikačních složek a její následné vytvrzení tepelným procesem = *tlustovrstvá* technologie. Vodivá, odporová nebo dielektrická pasta vzniká rozdrčením funkčního materiálu na prášek a přimícháním do pojivové matrice (polymery, rozpouštědla), která obsahuje i další modifikační složky a složky pro vytvoření vazby na substrát (pro textilní aplikace jsou to zejména polymery). Tato směs je odpovídajícím způsobem nanesena na žádanou podložku, a to nejčastěji metodou sítotisku, používá se však i řada jiných nanášecích metod. Následuje teplotní výpal s přesně definovaným časovým průběhem. Z hlediska materiálového základu lze nanášené pasty rozdělit na cermetové a polymerní.

Polymerní vrstvy lze díky nižší vytvrzovací teplotě nanášet i na organické materiály.

Obvod je možné doplnit o diskrétní aktivní a pasivní prvky a celek opatřit vývody a zapouzdit. Pro tvorbu teplotních senzorů se využívá běžných i speciálních vodivých a odporových past, dielektrické materiály pak plní ochranné účely.

Vedle teplotních senzorů se touto technologií realizují například senzory tlaku, vlhkosti, chemických látek, biosenzory a další. Automaticky se tím nabízí možnost na jednom substrátu vytvořit stejnou technologií hned několik snímačů různých fyzikálních a chemických veličin. Na obr. 20 je znázorněn návrh takového senzoru pro měření okolní teploty, atmosférického tlaku a relativní vlhkosti. Uvnitř tělesa senzoru je zabudován kapacitní snímač tlaku s tlustovrstvými elektrodami. Senzory teploty a vlhkosti, čili citlivá odporová polymerní vrstva nanesená technologií polymerních tlustých vrstev, jsou vytvořeny na povrchu tělesa snímače.



Obr. 20: Příklad návrhu multifunkčního senzoru pro měření základních parametrů životního prostředí, zhotoveného technologií tlustých vrstev [22]

### 3.2 Zpracování dat

Zpracování dat je jedním z komponentů, které jsou zapotřebí pouze tehdy, když je nutné aktivní zpracování. Oblast interpretace dat však v současnosti stagnuje. Textilní senzory mohou poskytovat velké množství dat, ale je problém rozpoznat, co znamenají. Problémem je:

- mnoho odchylek signálů např. mezi pacienty
- složitá analýza neměnných a časově závislých signálů

- nedostatek objektivních standardních hodnot
- nedostatek znalostí komplikovaných vzájemných vztahů mezi parametry

Kromě toho textilní materiály obecně nemají výpočetní (počítačové) schopnosti, proto jsou stále zapotřebí elektronické součástky. Ty jsou však nyní k dispozici v miniaturní a pružné formě. Jsou začleněny do voděodolných materiálů, avšak odolnost je stále omezená.

### 3.3 Pohon, zdroj energie

Poháněcí zařízení reaguje na impulsy pocházející od senzorů nebo po zpracování dat. Pohony zajišťují pohyb, uvolňují substance, vytváří zvuky atd. V této oblasti jsou nejznámější *materiály pro tvarovou paměť*. Slitiny s tvarovou pamětí existují ve formě nití. Díky svojí schopnosti reagovat na změnu teploty mohou být materiály s tvarovou pamětí použity jako poháněcí zařízení a perfektně odpovídají požadavkům kladeným na smart textile. Opravdovou výzvou v této oblasti je vývoj velmi silných mechanických pohonů, které se chovají jako umělé svaly. Bohužel výkon takovýchto materiálů stále není dostatečný.

Druhým typem jsou *chemické aktuátory*, které za předem definovaných podmínek uvolňují specifické substance. Substance mohou být uloženy v zásobnících nebo mohou být chemicky navázány na polymerní vlákna. Materiály, které uvolňují substance, již existují v několika aplikacích: uvolňují vonné látky, látky pečující o pleť, antimikrobiální prostředky atd. Nelze však účinně kontrolovat uvolňování látek. Uvolňování může být aktivováno teplotou, pH, vlhkostí, chemikáliemi a mnoha dalšími faktory. Z toho plyne i široké pole uplatnění kontrolovaného uvolňování látek, např. při dodávání léků.

### 3.4 Ukládání dat

Ačkoliv to není primárním cílem jako takovým, smart oděvy často potřebují určitou ukládací kapacitu, protože oděv musí být schopen fungovat jako samostatný počítačový systém. Nejběžnější je *ukládání dat a energií*. Činnost senzorů, zpracování dat, pohon i

komunikace obvykle vyžadují pohon, nejčastěji elektrickou energii. Výkonné řízení energie obsahuje vhodnou kombinaci dodávání energie a schopnosti energii ukládat. Zdroje energie vhodné pro oděvy jsou např. tělesná teplota, mechanický pohyb (pružný – z deformace textilie, kinetický z pohybu těla), radiace (solární energie) atd. Jak bylo zmíněno výše, dodávání energie musí být kombinováno s ukládáním energie. Jednou z možností jsou baterie. Baterie se stávají menšími a lehčími. Dokonce existuje i pružná verze, která je ovšem méně výkonná.

Mikrokapsle jsou vhodné pro *ukládání roztoků*, které mohou být uvolněny po porušení kapsle nebo pomocí migrace přes obal. Slouží jako chemické aktuátory. PCM materiály (materiály se změnou fáze) obsahují mikrokapsle s vosky, které mají schopnost ukládat tepelnou energii.

### 3.5 Komunikace

Komunikace pro inteligentní elektronické oděvy má mnoho podob a může fungovat:

- v rámci jednoho elementu oděvu
- mezi jednotlivými elementy v rámci oděvu
- k vedení instrukcí od nositele do oděvu
- k předávání informací z oděvu k nositeli nebo jeho okolí

V rámci oděvu je komunikace nyní realizována buď pomocí optických vláken nebo vodivými vlákny. Obě varianty mají čistě textilní podstatu a mohou být včleněny do oděvu bezešvým způsobem.

Textilní materiály citlivé na dotek umožňující vložení informace poskytují procesní jednotku, která interpretuje příkazy. Komunikace se širokým okolím je důležitá v mnoha aplikacích. V případě řidičů může být dopravní prostředek ve vzájemném spojení s oděvem mnoha způsoby, např. jako přímý kontakt mezi vozem a řidičovým oděvem. Bezdrátového spojení může být dosaženo integrací antény do oděvu. Výhodou antény včleněné do oděvu je, že může být využit velký povrch, aniž by to uživatel vnímal, resp. aniž by ho nějakým způsobem obtěžovala.

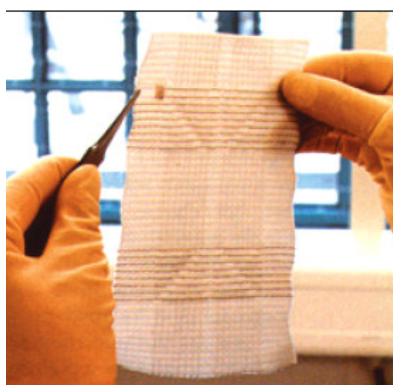
## 4. TVORBA VODIVÝCH CEST

Vodivé cesty mohou být na textilií vytvořené několika způsoby:

- samotná struktura textilie obsahuje vodivá vlákna, u tkané textilie v osnově nebo útku, a ta pak vytváří požadovanou elektronickou charakteristiku
- tvorba vodivých cest na textilních materiálech technologií vyšívání
- tvorba vodivých cest technologií textilního tisku

### 4.1 Vetkání vodičů a sběrníkových systémů přímo do textilií [23]

Tento způsob se jeví jako nejlepší spojovací technologie mezi textilním substrátem a elektronickými součástkami (obr. 21). Na jednotlivé vodivé dráhy se pak připojí mikroelektronické moduly, které musí být samozřejmě lehké, omyvatelné a podobně pružné, ohebné a trvanlivé jako běžné tkaniny.



Obr. 21: Vodivé dráhy vetkané v textilií [23]

Příkladem je přikrývka **Polartec Heat Blanket**. Velmi tenká vodivá vlákna vetkaná či vpletená do přikrývky po připojení ke zdroji energie hřejí. Jsou zhotovena ze speciálně upravené nerezavějící oceli tak, aby vydržela při strojovém pletení a přitom byla natolik ohebná, že je člověk hmatem ani nerozezná [17].



## 4.2 Elektronická výšivka [2,24]

Použitím vodivých přízí mohou být na textilních substrátech vytvořeny vysoce odolné, pružné a dokonce pratelné mnohvrstvé elektronické systémy obvodů. Elektronická výšivka je vzorování vodivé textilie číselně řízeným šicím nebo tkacím procesem.

Šité nebo vyšíváné textilní elektrické obvody zahrnují textilní elementy (vodivé příze, vlákna a textilní substráty), které pracují jako vodivé cesty, senzory, elektrody a diskrétní komponenty (např. rezistory a kondenzátory). Ideální vlákno nebo textilie pro elektrický obvod musí mít dokonale přizpůsobitelné vlastnosti a tyto vlastnosti by si měly udržet i při procesu šití, při ohýbání nebo nošení.

- ***kovový hedvábný organtýn*** (obr. 1): ve své základní formě je to jemná hedvábná tkanina s tenkými zlatými spirálami ovinutými kolem každé útkové příze. Osnova obsahuje paralelní hedvábné příze. Příčně k této osnově je vetkán útek s hedvábnými přízemi, které jsou ovinuty kovovými fóliemi. Tato kovová vlákna mají vysokou vodivost (okolo  $0,1 \Omega/\text{cm}$ ). Protože vodič běží v této textilií pouze v jednom směru, textilie je anizotropně vodivá. Elektrické obvody s komponenty připojenými k organtýnu vyžadují, aby bylo zabráněno vzájemnému překřížení kontaktů, což lze provést obalením, podepřením nebo vyztužením textilie izolační vrstvou, což může být také tkanina. Ovšem má to tu nevýhodu, že izolace může rušit vodivost textilie.
- ***vodivé příze***: vodivá nerezová ocelová příze (vlákno) má několik přímých výhod. Je inertní – netečná, a tudíž není náchylná k poškození při praní nebo pocení. Tyto příze se liší svým složením – od stoprocentně vodivých nekonečných vláken k výrobě plstí až k polyesterovým kompozitům vyplněným krátkými ocelovými vlákny. Tato rozdílnost souvisí i s odlišným odporem. Vodivost těchto přízí je nakonec omezena vlastní vodivostí nerezových ocelových vláken, která je závislá na procesu jejich výroby a na jejich průměru a jemnosti. Kompozitní příze s krátkými ocelovými vlákny a polyesterem byly vybrány pro strojní výšivku z toho důvodu, že příze z nekonečných ocelových vláken nemůže být použita pro strojní šití. Protože jsou ocelová vlákna krátká a

vyčnívají z příze, mohou mezi šitými vodivými cestami existovat elektrická spojení. To může být napraveno úpravou povrchu textilie magnetem pokrytým houbou. Vyčnívající ocelová vlákna vytváří výborný kontaktní povrch. To je důležité např. pro dotyková tlačítka vytvářející kontakt s deskou elektrického obvodu (jako u hrací bundy), určená pro kontakt s kůží pro snímání hodnot a kontakt mezi oddělenými vlákny a vodivými cestami (obzvláště v případě vícevrstevných elektrických obvodů vytvořených technologií vyšívání).

- **kompozity** vytvořené elektronickou vyšivkou: jde o techniku „stehování“ kompozitních cest. Segmenty vodivé cesty, které pokrývají ocelové svazky, vykazují menší odpor na jednotku délky než segmenty samotné. Vodivost těchto čistě ocelových přízí je asi 100x větší než příze kompozitní, což nutně vede k závěru, že nepříliš přesná síť odporů může být jednoduše vytvořena kombinací řad stehů ve dvou materiálech.

Vodivé nitě, typicky jemnější a pevnější než vodivá vlákna, mohou být do smart oděvů strojově všity. Jejich vodivost může být regulována právě způsobem rozmístění. Výšivka vodivými nitěmi nabízí výhody pro inteligentní elektronické textilie, zahrnující možnost našít více vrstev na textilií v jednom kroku a přesnou specifikaci dispozice elektrického obvodu s CAD. Klávesnice na obr. 6 byla vyšita nitěmi z nerez oceli a polyesterových kompozitů. Je vysoce citlivá na dotek, čímž umožňuje uživateli hrát jednotlivé tóny, akordy nebo rytmy.

#### 4.3 Technologie vytvoření vodivé textilie potiskem vodivými pastami (tištěné obvody) [25]

Elektronické textilie jsou většinou vodivé díky vetkání nebo vpletení vodivých přízí do textilní struktury během procesu výroby textilie. Obtížnost integrace elektronických komponent do oděvu zvyšuje kromě jiného i geometrické omezení spojené s vodivými cestami, příkladem je nedostatečná stopa vzoru elektronických komponent.

Jedním ze způsobů, jak eliminovat tyto nedostatky, je využití technologie používané v průmyslu polymerních tenkých filmů. Místo vetkání nebo vpletení vodivých vláken

do textilní struktury lze textilní substrát potisknout vodivými pastami, resp. inkousty metodou sítotisku (filmového tisku). Jde tedy o technologii natištění koplanárních vlnovodů přenosových cest metodou sítotisku na specifický textilní substrát pomocí vodivých past (inkoustů).

#### 4.3.1 Sítotisk

Princip sítotisku spočívá v protlačování vazké barvy propustnými místy v šabloně pomocí tříče. Tímto způsobem se nanáší vrstva inkoustu/pasty za regulovatelných podmínek. Nejobvyklejším vodivým materiálem používaným k sítotiskovým vzorům jsou stříbrem plněné inkousty/pasty. Přidáním kovů, jako je měď, stříbro, nikl nebo zlato do tradičních tiskacích past, vzniknou vodivé koloranty (inkousty nebo pasty). Tyto koloranty mohou být natisknuty na různé substráty, jako je papír, plasty nebo textilie, a vytvořit tak elektricky aktivní vzory. Nabízí vysokou vodivost, kterou jsou schopny udržet i po oxidaci. Inkousty mohou být naneseny na téměř jakýkoliv textilní substrát bez nutnosti použití ekologicky nebezpečných a dráždivých chemikálií. Celkově je to jednoduchý a levný proces, který má extrémně nízký dopad na ekologii.

Je důležité zvolit vhodné parametry sítotisku pro různé druhy tiskařských past a různé druhy textilních substrátů, stejně jako vhodné úpravy. Sítotiskový proces totiž sestává z prvního vniknutí dostatečného množství pasty/inkoustu do síta v jednom směru a následně tisku ve směru opačném. Avšak každý z textilních substrátů má svoji charakteristiku a u některých z nich se při jednom cyklu tisku nedosáhne plného pokrytí pastou. Pro dostatečné pokrytí pastou je pak vyžadován cyklus druhý. To však technologie sítotisku neumožňuje, protože následný tisk přes mokrou inkoust/pastu způsobuje rozmazání tištěného vzoru. Proto tento dvojitý tisk vyžaduje mezikrok, ve kterém dochází k zafixování pasty/inkoustu předtím, než je proveden druhý cyklus. Důvodem nedostatečné vrstvy vodivé pasty může být i omezené množství pasty procházející mřížkou síta, a to v těch případech, kdy má síto příliš hustou dostavu.

Co se týče úprav, jde o povrchové úpravy textilního substrátu. Nerovnost povrchu textilie může způsobovat nerovnoměrnost nánosu inkoustu/pasty na povrchu, což způsobuje změny impedance. Kromě toho může konturovaný povrch textilního substrátu způsobovat drsnost okrajů tištěné stopy. Jelikož je charakteristická impedance silně závislá na mezerách mezi signálním vodičem a uzemněním, je pravděpodobné, že tyto drsné okraje také způsobují změny impedance vodivých cest. Povrchová energie

textilie musí být také blízka povrchovému napětí inkoustu/pasty. Hodnota povrchového napětí je ovlivněna hrubostí textilního povrchu a má vliv na to, zda bude pasta/inkoust mít tendenci zůstat na povrchu textilie nebo absorbovat do textilní struktury. Pokud pasta zůstává více na povrchu textilie, vytváří vhodnější povrch pro vodivost. Pasta, která absorbuje do struktury, zanechává tenčí vodivý povrch a více přilne k textilii, což zvyšuje trvanlivost natištěných vodivých cest, a tudíž poskytuje větší možnosti údržby.

Aplikace PTF technologie umožňuje použití jednoduchého výrobního procesu bez složitostí, které by mohly zvýšit jeho cenu. Co se týče vodivosti a vzhledu, vykazuje nejlepší výsledky pasta s větší viskozitou a větším podílem stříbra. Vodivost inkoustů je také ovlivněna absorpcí inkoustu a větší povrchovou nerovností (hrubostí) textilie.

Tato technologie byla původně vyvinuta pro potisk desek s elektrickými obvody a je používána v různých oblastech, zahrnujících počítače, komunikace, automobily, průmyslovou elektroniku, hudební nástroje, oblast obrany států atd. Vodivé inkousty (pasty) se využívají v pružných tištěných elektrických obvodech z důvodů úspory nákladů oproti tradičním výrobním technologiím, zlepšení trvanlivosti, spolehlivosti a obvodové rychlosti a snížení velikosti obvodů. Inkousty (pasty) odolávají ohýbání, praní a žehlení beze ztráty vodivosti.

Zkoumáním tištěných elektrických obvodů na textilních substrátech a jejich elektrickou charakterizací se zabýval také tým pracovníků ze Státní univerzity v Severní Karolíně [31].

Předmětem zkoumání byla elektrická charakterizace koplanárních přenosových cest, natištěných na netkaných textilních substrátech vodivými inkousty, resp. pastami, pro stanovení jejich vhodnosti pro širokopásmové aplikace, např. digitální signalizaci. Linie (cesty) natištěné vodivým inkoustem (pastou) byly testovány z hlediska DC odporu, charakterizace impedance, charakterizace frekvence a časové reflektometrie. Testované vzorky přenosových linií byly natištěny na dvou odlišných typech netkaného textilního substrátu s použitím dvou různých typů vodivého inkoustu, tj. inkoustů s rozdílnou viskozitou a s rozdílným podílem stříbra. Ukázalo se, že pasta s vyšším procentem stříbra je více vodivá. Nižší vodivost je s největší pravděpodobností způsobena i vyšší absorpcí pasty a větší povrchovou hrubostí substrátu.

Bylo zkoumáno vzájemné působení pasty a netkaného substrátu. Z výzkumu vyplynulo, že viskozita pasty a kontaktní úhel mezi pastou a netkaným substrátem

ovlivňují to, jak bude pasta distribuována v/na substrátu. Rozdíly mezi distribucí „v ploše/rovině“ a „přes plochu/rovinu“ byly způsobené kvalitou a chováním nanášeného média. S vysokou penetrací (pronikáním) pasty substrátem klesla vodivost (vysoké hodnoty DC odporu).

Kapkový test, používající vysoce rychlostní kameru, ukázal, jak se kapky formují na netkaném substrátu, a odhalil, že pasta s vysokou viskozitou má tendenci zůstat na povrchu substrátu, což vede k rovnoměrnějšímu pokrytí pastou. Pasta s nízkou viskozitou proniká více do substrátu. Měření odhalilo, že penetraci pasty ovlivňují také strukturální parametry substrátů, jako je pórovitost (propustnost) a povrchová hrubost.

Natištěné pasty začínají degradovat (čili vykazovat nižší vodivost) po čteném domácím praní. Byly vykazány závažné znaky poškození, způsobené pomačkáním.

Dále byly zkoumány vlastnosti přenosových cest natištěných na netkaném substrátu pro wearable computing. Byly navrženy „suché“ elektrody, které by mohly být integrované do oblečení pro monitoring srdečního tepu nebo dýchání. Tento systém umožňuje bezdrátové monitorování bez rozměrné elektroniky.

Závěr projektu Státní univerzity v Severní Karolíně: ve výzkumu byla použita metoda sítotisku k vytvoření přenosových cest s použitím vodivého inkoustu na netkaných textilních substrátech a elektrická charakterizace byla provedena měřením DC odporu a metodami TDR. Bylo odhaleno, že kolísavé výsledky souvisí mimo jiné s parametry síta, kdy na substrát bylo sítem dopraveno nedostatečné množství pasty (inkoustu), vedoucí k nespojitosti podél stopy. Tento problém byl vyřešen dvoufázovým tiskem. Avšak dvojitý tisk tradičně zahrnuje mezifázi, ve které je nutné ošetření (zafixování) první vrstvy tisku (pasty) a zanesení (registraci) obrazce před druhým tiskem, čili před nanesením druhé vrstvy pasty.

Měření DC odporu ukázalo, že pasta (inkoust) s větší viskozitou a větším podílem stříbra vykazuje nejlepší výsledky, co se týče vodivosti a vzhledu. Kromě toho je vodivost inkoustů ovlivněna absorpcí inkoustu a větší povrchové nerovnosti (hrubosti) textilie.

Systematické zkoumání elektrického chování vodivých textilií prokázalo, že vysoce frekvenční vedení není charakterizováno pouze svým odporem, ale také přenosem a vlnovými efekty. Na tyto efekty má vliv geometrie cest (linií) a okolní materiál. To

znamená, že kromě vodivých materiálů musí být také uvážena geometrická struktura, která vzniká při procesu výroby textilií.

Obecně se charakteristická impedance linií jeví jako stejná bez ohledu na pastu (inkoust) nebo substrát. Inkoust s nižším povrchovým napětím absorboval více do struktury textilie, což způsobilo náchylnost ke změnám impedance v souvislosti s povrchovou hrubostí textilie. Hodnoty impedancí mezi vzorky ukazují nízkou charakteristickou impedanci v porovnání s technologiemi tkaných elektronických textilií. Na rozdíl od tkaných elektronických textilií, které čelí geometrickému omezení tkané struktury, silný polymerní film tištěný na netkaných substrátech prezentuje větší flexibilitu.

#### 4.4 Přehled některých aplikací vodivých textilií

- **řádková a sloupcová textilní klávesnice** je textilní spínačová matrice ušitá z vodivých a nevodivých textilií. Klávesnice sestává ze dvou vrstev vysoce vodivého kovového organotýnu s odporem přibližně  $10 \Omega/\text{m}$  a nevodivých řádků oddělených izolační vrstvou nylonové síťoviny, známé také jako tyl. Pokud dojde ke stisku na správném místě, dvě vodivé vrstvy vytvoří spojení přes prostor v nylonové síťovině a elektrický proud teče z řádkové elektrody do sloupcové elektrody. Klávesnice může být opakovaně rolována, mačkána nebo prána bez vlivu na elektrické vlastnosti.



Obr. 22: Řádková a sloupcová textilní klávesnice [2]

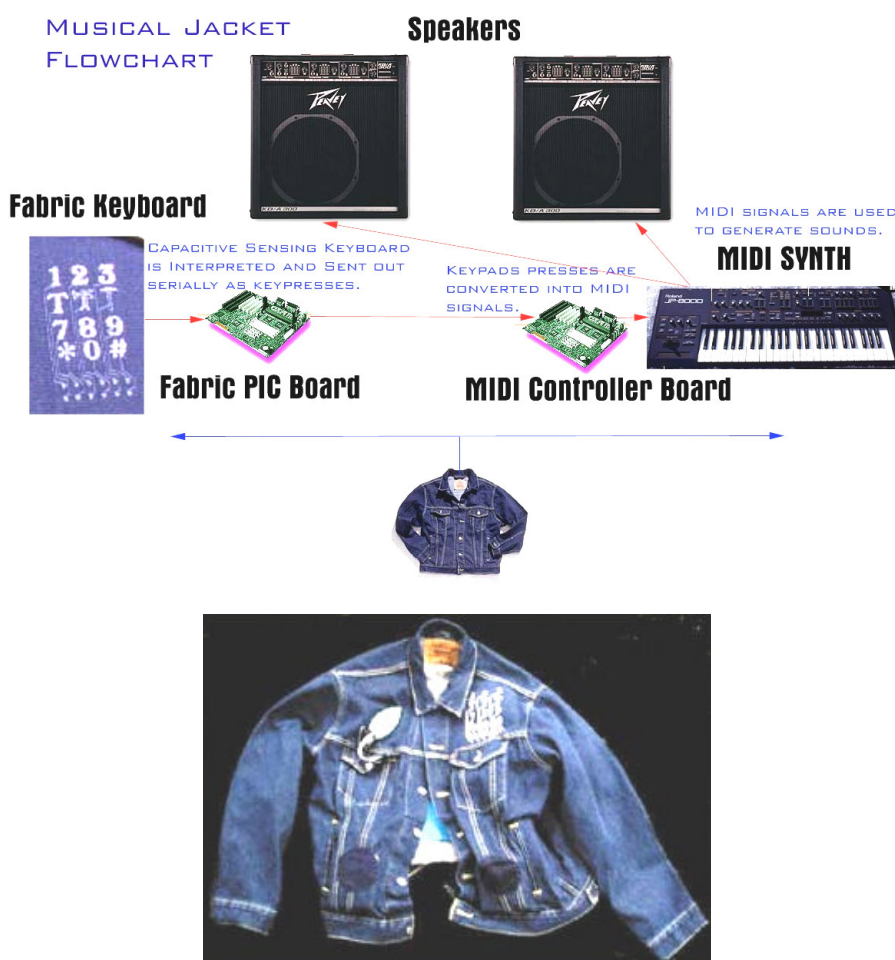
- **světélkující šaty:** je to aplikace, která reaguje na pohyb nositele měnícím se světelným displejem. Jednou z částí šatů je sukně, vyrobená ze dvou vrstev vodivého organtýnu (z nichž jedna zabezpečuje uzemnění), oddělené vrstvou nylonové síťoviny. LED diody s konfúzním vodivým zakončením ve formě suchého zipu pro elektrické spojení jsou umístěny ve všech částech síťoviny. Když se oba konce LED diod letmo dotknou nabitě a uzemněné plochy, obvod se sepne a diody svítí. Druhou část šatů tvoří živůtek s vodivým panelem a náhrdelník. Náhrdelník je jednoduchý analogový počítač, nabíjený, když se jeho vodivé střapce dotknou vodivého organtýnu, všitého do živůtku. Každý ze střapců má svoji vlastní síť odporů a poskytuje různé barvy s upřednostněním červené, zelené a modré diody na povrchu náhrdelníku.



Obr. 23: Světélkující šaty [2]

- **hrací bunda s vyšívanou klaviaturou:** obyčejná denimová bunda je změněna na oblékatelný hudební nástroj, umožňující nositeli hrát jednotlivé tóny, akordy, rytmy a hudební doprovod. Vyšívaná klaviatura je pružná, odolná a vysoce citlivá na dotek. Je vytvořena s použitím běžné vyšívací techniky a mírně vodivých nerezavějících ocelových a polyesterových kompozitních nití. Odpor elektrod je snižován přesným umístěním jednotlivých stehů. Každá elektroda je vyšita jednou nekonečnou nití a mnohokrát se protíná, a vytváří tak mnohonásobné překřížení, což vede ke vzniku paralelního odporu a k růstu

celkové vodivosti elementů elektrického obvodu. Co se týče přízí a nití použitých ve vysokorychlostním procesu vyšívání, zde musí být přijat kompromis mezi jejich elektrickými a mechanickými vlastnostmi. Příze musí být vodivé, ale také dostatečně pevné a pružné, aby mohly odolat vysokým rychlostem bez poškození jich samých nebo jejich elektrické vodivosti. Také si musí zachovávat své elektrické vlastnosti i po vyprání a opakovaném vystavování vlivům, jako je voda, alkohol nebo pot. Proces také umožňuje regulaci a integraci přízí s rozdílnými elektrickými vlastnostmi, např. různými odpory. Tato míra kontroly stehů a rozmanitost přízí nabízí možnost rozmístění diskretních komponent, jako jsou kondenzátory, rezistory a indukční cívky se specifickou kombinací nití a vyšívaných vzorů. Tyto komponenty mohou snižovat výrobní cenu a zvyšovat spolehlivost zdokonalením mechanických vlastností.



Obr. 24: Schéma propojení hrací bundy a vzorek [2,24]



## 5. RELEVANTNÍ MOŽNOSTI APLIKACE SENZORŮ V ODĚVECH

Při řešení tohoto problému je zejména důležité zodpovědět si tyto otázky:

- 1) Proč vůbec aplikovat senzory do oděvů a zda navržené oblasti použití jsou z hlediska realizace, ceny a praktičnosti relevantní, tedy zda v tomto případě neexistuje jiná, vhodnější možnost. V podstatě jde o odpověď na otázku, zda textilní či oděvní senzor není pouze dražší, složitější a poněkud nadstandardní a neopodstatněnou variantou použití běžného wearable computing, které svými rozměry také odpovídá požadavkům miniaturizace elektronických komponent a není zatíženo problémem integrace, spojeným s problémem údržby textilie či oděvu. Tedy zda to není pouze „doplněk“, jehož funkci může převzít jakékoliv odnímatelné elektronické mikrozařízení nebo naopak, zda inteligentní elektronická textilie nepřebírá zbytečně, draze a z hlediska funkčnosti neopodstatněně funkci mikroelektronického zařízení.

Lze navrhnout nepřeberné množství možných aplikací, jakými jsou např. aplikace zábavní multimediální elektroniky pro volný čas – integrovaný přehrávač CD, MP3 přehrávač, panel pro elektronické hry, digitální kamera a videozařízení, nebo interaktivní klubové oblečení, které mění barvy v závislosti na rytmu hudby. Textilní klávesnice na rukávech může být použita pro vytáčení telefonních čísel či jako druh pagerů pro vzkazy. Inteligentní elektronické textilie mohou také sloužit pro detekci tlaku či pohybu v citlivých zdravotních textiliích, ve strojírenských textiliích, aktivním sportovním oblečení či automobilových sedačkách. Dále se může jednat o speciálně vybavené vesty pro záchranáře nebo lékařské monitorování pacientů.

- 2) Co lze pomocí senzorů měřit, tedy jaké charakteristiky, vlastnosti či parametry. Téměř všechny veličiny jak zevního, tak vnitřního prostředí mohou nabývat extrémních hodnot, které způsobí změnu jiných veličin a jejich parametrů. To samozřejmě může mít za následek ohrožení lidského zdraví nebo dokonce života.
- [26]

**A. vnitřní veličiny** – jejich měření slouží např. pro monitorování nemocných pacientů, sportovců, vojáků apod.:

*tělesná teplota*

*krevní tlak*

*srdeční tep a srdeční činnost obecně*

*dechová frekvence*

*saturace kyslíku*

*parciální tlaky  $O_2$  a  $CO_2$*

*hladina cukru v krvi*

*hladina různých látek v krvi*

*příznaky, oznamující blížící se záchvat*

*příznaky nemoci*

**B. vnější veličiny** – vliv okolí, které má za následek změnu veličin vnitřních jako reakci na vnější veličiny.

*teplota vnějšího prostředí:*

⇒ **návrh senzoru, resp. inteligentního oděvu**, umožňujícího odvádění perspirace, čili vhodně načasovanou ventilaci, tzn. ventilace během svalové námahy a její ukončení v okamžiku, kdy se zvýšená perspirace vyvětrá a zároveň se tělo ještě nezačne ochlazovat. Kdyby perspirace nemohla unikat, zmrzla by. Voda a led mají totiž 240x větší tepelnou vodivost než nehybný vzduch, tj. tělo musí dodat mokrému nebo zmrzlému oděvu alespoň 240x více tepla než suchému, aby byl pocit tepla na kůži člověka stejný.

⇒ **návrh senzoru, respektive inteligentního oděvu**, reagujícího na snížení vnější teploty zvýšením teploty prostředí mezi povrchem lidského těla a oděvem. I při nízkých teplotách je relativně vysoká šance na přežití, a to z toho důvodu, že tkáně mají při nízkých teplotách minimální spotřebu kyslíku. Zahřívání by mělo

být postupné, aby kožní vazodilatace (rozšíření cév) neohrozila přívod krve do důležitějších orgánů. Hypertermie je snazší u starších lidí, kteří mají menší citlivost na změny vnější teploty a zároveň mají menší pohyblivost než lidé mladšího věku, a také u novorozenců, kteří mají relativně velký povrch a nezralý mechanismus svalového třesu.

- ⇒ **návrh senzoru, resp. inteligentního oděvu**, reagujícího na vysokou koncentraci NaCl.
- ⇒ **návrh senzoru** reagujícího na nízkou koncentraci NaCl se současným podáním této látky do těla.
- ⇒ **návrh senzoru**, reagujícího na změnu vnitřní teploty jako důsledek vnější teploty a navíc umožňující změnu teploty prostředí mezi oděvem a povrchem lidského těla. Ochlazení by nemělo být pozvolné, protože jemnější odvod tepla z těla může být negován povrchovou vazokonstrikcí.

Obecně jde o **návrh senzorů, respektive integrovaných obvodů, jejichž součástí je senzor**, které umožní omezit tvorbu tepla, omezí příjem tepla radiací a umožní ventilaci.

#### *atmosférický tlak:*

- ⇒ **návrh senzoru** měřícího % O<sub>2</sub>. Do 110 km se množství kyslíku pohybuje okolo 21 %, ale protože vzduch je stlačitelný, je v nižších polohách ve stejném objemu vzduchu více molekul O<sub>2</sub> než v polohách vyšších.
- ⇒ **návrh senzoru, resp. inteligentního oděvu, jehož součástí je senzor**, umožňující okamžitou aplikaci léčebné látky, snižující viskozitu a srážlivost krve

*radiace a jiné druhy záření*

*hluk*

*chemikálie*

*mechanické působení* (tlak, tření ...)

*znečištění*

*elektrický proud*

*statické nebo dynamické zrychlení*

*odstředivé nebo setrvačné síly*

*naklonění*

*vibrace*

*atd.*

Senzory lze rozdělit z několika hledisek:

- I. podle toho, co (jakou hodnotu či parametr) snímají:
  - senzory snímající vnější veličiny
  - senzory snímající vnitřní veličiny – biosignály lidského těla – viz výše
- II. podle typu senzoru: elektrické, elektronické, chemické aj.
- III. podle umístění
- IV. podle toho, jak danou veličinu měří
- V. podle toho, zda veličinu pouze měří, nebo zda na ni, respektive na její změnu nějakým způsobem reagují

Při hledání relevantních oblastí použití senzorů v oděvu je proto nutné využít přirozených vlastností a funkcí textilií, resp. oděvů. Jde zejména o to, že oděv člověka provází po většinu času a při většině činností, aniž by člověk jeho přítomnost vědomě vnímal. Oděvy mimoto nabízejí velké množství kombinací základních materiálů, struktur a úprav, takže mají možnost stát se silným nástrojem pro monitorování obecných i specifických částí lidského těla s vysokou úrovní spolehlivosti a současně s vysokým komfortem pro uživatele. Nezbytným předpokladem pro praktickou realizaci inteligentních oděvů je další pokrok v miniaturizaci elektronických komponent, který umožní jednotlivé mikroelektronické moduly přímo začlenit do obleku a navzájem je propojit. Oděv totiž nabízí dostatečnou plochu nejenom pro umístění různých funkčních

modulů a jejich propojení, ale současně i pro začlenění ovládacích komponent a vstupních či výstupních zařízení tak, aby k nim měl uživatel snadný přístup. Do takto vytvořené sítě se dají začlenit senzory, centrální datová paměť, solární články apod.

V oblasti vývoje inteligentních textilií, které dnes tvoří vrchol v kategoriích „high added value“, pokračuje vývoj nových trendů. Je zde nutná spolupráce s obory, jako je elektronika, mikroelektronika, biotechnologie, fyzika povrchů atd. Dosavadní poznatky ukazují, že textilní substrát – oděv, technická textilie aj. je svojí plochou i konstitucí ideálním prostorem pro inkorporaci dalších funkčních systémů.

Při zkoumání oblastí možného využití inteligentních elektronických oděvů a s přihlédnutím k funkčnosti, opodstatněnosti a využitelnosti lze tedy vytyčit dvě hlavní oblasti, které jsou ovšem spolu úzce provázány:

## 5.1 medicínské využití inteligentních elektronických textilií/oděvů

V oblasti medicíny mohou smart e-oděvy sloužit kromě svých bariérových schopností také k monitorování zdravotních ukazatelů (sledování zdravotního stavu a diagnostikování poruch lidského organismu) a k terapeutickému využití jako materiály pro inteligentní dávkování léčiv v závislosti na stavu pacienta.

Senzory zabudované do částí oděvu mohou monitorovat různé vitální projevy člověka a upozornit svého nositele nebo přímo jeho lékaře, jestliže nastanou problémy. Protože jsou praktičtější než standardní monitorovací zařízení, mohou tyto inteligentní elektronické textilie, resp. oděvy, zvýšit pacientovu pohyblivost, a tím zlepšují i kvalitu života handicapovaných pacientů.

### Sledování zdravotního stavu

Zatím ani lékaři sami nevědí, jak by mohli technické možnosti moderních zařízení vlastně využít. Žádný jiný monitorovací systém totiž neumožňuje tak dlouhodobé sledování životních funkcí jako inteligentní oblečení. Množství získaných údajů by mohlo znamenat nový kvalitativní krok ve zdravotnické péči. Lékaři mohou např. dokonaleji zmapovat vznik a průběh určitých chorob. Dnešní lékařství je z velké části

založeno na nárazovém sledování odchylek od standardního stavu. Průběžné sledování konkrétního pacienta by mohlo umožnit vytvoření jeho individuálního profilu. Jinými slovy by bylo možné zjistit, jak se chová tělo za normálních okolností, a co v daném případě můžeme považovat za odchylku. V budoucnu by každý člověk mohl při narození dostat monitorovací soupravu a inteligentní textilie by ho tak doprovázely až do smrti. Počítačová analýza umožní rychlejší a přesnější stanovení diagnózy. Do té doby je však nutné vyřešit ještě řadu technických problémů. Lékaři navíc nevědí, zda z určitých měření mohou získat relevantní lékařské informace, proto nikdo nevyvíjí přístroje na jejich trvalé monitorování. A protože nejsou k dispozici přístroje ani příslušná kvanta dat, nelze říci, co by se na jejich základě dalo zjistit. Proto by měl být vývoj inteligentních textilií úzce svázán s vývojem diagnostických metod. Navíc je celý vývoj dosti komplikovaný jak po technické, tak i po finanční stránce. Integrované komunikační zařízení musí být stoprocentně funkční i po několikerém vyprání v pračce, odolné při namáhání a současně spolehlivé a pokud možno jednoduché.

Jaké funkce či biosignály lze sledovat:

- ✗ srdeční tep
- ✗ parametry dýchání (frekvence/objem)
- ✗ monitorování tělesné teploty
- ✗ monitorování krevního tlaku (invazivně a neinvazivně)
- ✗ sběr akustických dat
- ✗ sledování pachů
- ✗ sledování barev
- ✗ sledování pohybů
- ✗ pravidelná analýza složení potu
- ✗ zjišťování vodivosti pokožky
- ✗ ultrazvukové měření krevního toku
- ✗ úroveň stresu
- ✗ hladinu cukru v krvi
- ✗ EKG (EKG – dechová křivka snímaná prostřednictvím změn impedance hrudníku)
- ✗ apod.

Pro signalizaci určitých stavů se nabízí využití materiálů, které za určitých okolností mění svou barevnost.

Příkladem lékařského využití inteligentní elektronické textilie je kojenecký obleček, který vznikl podle návrhu pracovníků univerzity v belgickém Gentu. Výrobek je určen novorozencům ohroženým syndromem náhlého kojeneckého úmrtí. V textilním materiálu jsou vetkány elektrody, které trvale monitorují činnost srdce a dýchání dítěte. Signály putují tenkými ocelovými vlákny do spirálovité antény a odtud přes další anténu uloženou v matraci do vyhodnocovacího zařízení. Pokud sledované životní funkce vybočují z normálu, spustí přístroj okamžitě poplach [27].

### Terapeutické účinky

Vedle monitorovací funkce mohou mít inteligentní textilie ovšem i přímé terapeutické účinky. Jde například o mikrokapsle s léčivý, které jsou přímo vetkány v oděvu a jejichž prostřednictvím jsou do těla dodávány různé medikamenty. Jejich aktivace probíhá buď postupně při otěru těla o oblečení, nebo na povel kontrolního systému, např. při změně tělesné teploty, zvýšené vlhkosti nebo působením enzymů signalizujících určité infekce. Dále jde o využití velmi malých elektrických proudů, které aktivují pokožku a usnadňují pronikání léků do těla. Může se též jednat o oděvy, které pomocí ultratenkých vibračních podložek masírují části těla. Stimulace jednotlivých partií těla a jejich případné zahřívání je zajímavé nejen pro sportovce, ale i pro starší osoby, např. pro dlouhodobě ležící pacienty.

Další příklady využití inteligentní elektronické textilie, resp. oděvních senzorů ke sledování zdravotního stavu:

- ✓ Pohybová čidla dovedou upozornit na nesprávné pohyby při sportu nebo zaznamenávají jejich průběh pro pozdější vyhodnocení. Analýza pohybu může například odhalit, zda příčina bolesti kolen spočívá v kloubu nebo ve svalech.
- ✓ Jedním z dalších nápadů je podprsenka, která by nositelky včas varovala před nádorovým onemocněním prsu. Oblečení budoucnosti by nám tak mohlo ušetřit alespoň část preventivních vyšetření a upozorňovat nás včas na případné zdravotní problémy.

- ✓ Textilie s integrovaným senzorickým zařízením mohou být řízeny systémem GPS, a tím může být přesně určena poloha nositele kdykoliv a v jakémkoliv počasí. Rodiče mohou být jednoduše informováni o místě pohybu jejich dítěte, oblečeného v oděvu obsahujícím GPS.
- ✓ Práce a pohyb v extrémních podmínkách: hasiči – ochrana před vysokou teplotou a vlhkostí, kdy hrozí riziko opaření, chemici – reakce na chemické látky.
- ✓ Sport v extrémních podmínkách: horolezci, potápěči, extrémní sporty...
- ✓ Signální plavky mohou být vybaveny elektronickým zařízením, které upozorní na to, že je třeba slunečním paprskům vystavit jinou část těla, resp. přemístit se do stínu. V principu jde o miniaturní časový spínač. Akustický signál také zabrání člověku na slunci usnout a spálit se.
- ✓ Impulsy, stimulující činnost svalů a zabráňující jejich ochabování u pacientů po úrazech, kteří se sami nemohou hýbat.

## 5.2 vojenské využití inteligentních elektronických textilií/oděvů

Cílem využití inteligentních oděvů pro vojenské účely je vytvořit takový oděv, který bude obsahovat komunikační hardware, bude sledovat okamžitý fyzický a psychický stav svého nositele, zaznamenávat pozici každého vojáka, snímat světlo okolí a přizpůsobovat podle něj maskování a chránit člověka proti klimatickým vlivům, plamenům, střelám, paprskům (např. laserovým), chemickým a biologickým látkám. Senzory integrované do oděvu budou zachycovat pohyb blížícího se předmětu nebo člověka. Jiné senzory dají pokyn k tomu, aby v případě potřeby byly do těla vpraveny příslušné látky (energetické, uklidňující léky nebo protilátky v případě zranění či zasažení otravnými látkami).

Použití vláken v technických textiliích pro vojenské účely je mnohostranné. V řadě případů je shodné s použitím textilií pro jiné technické aplikace s tím, že jsou obvykle požadovány také bariérové schopnosti a možnost kamufláže. Speciální požadavky jsou kladeny na oděvy pro vojáky, které mají chránit proti:

- extrémním teplotním výkyvům počasí (např. mrazivý vítr)



- střelám, střepinám a ostrým úlomkům
- působení ohně
- bojovým a otravným látkám.

Účinné ochrany vůči těmto vlivům lze dosáhnout kombinací vláken, konstrukcí textilií a spojováním různých vrstev. V řadě případů se používají inteligentní textilní struktury, kdy je za běžných podmínek zaručen komfort při nošení (prodyšnost a propustnost pro vodní páru) a až v případě ohrožení dochází ke změně chování (neprodyšnost, tvorba pěny na povrchu, prostorová expanze atd.).

Pro speciální vojenské uniformy a ochranné oděvy se využívají senzory na bázi optických vláken pro detekci biologických látek. Používá se přídavek pH senzitivních barviv, modifikujících „obal“ dvojice kroucených optických vláken. Tyto senzory lze umístit do tkaných struktur. Po detekci nervových plynů, chemických, biologických bojových látek a toxických látek nebo elektromagnetického záření zajistí uvedená čidla spuštění poplachu informujícího o nebezpečí.

Pro vojenské účely se využívá i přístroj Vibravest, který je sestaven z elektronických obvodů, jež se všijí do speciálně ušitého obleku. Zachycuje vibrace blížícího se předmětu nebo člověka, i když ještě nejsou okem viditelné.

Oděv pro vojenské účely, sledující životní funkce vojáků, vyvinul pod názvem Wearable Motherboard technologický institut v americké Georgii (viz výše, [15,16]). Jde o „chytré“ tričko s vodivými vlákny napojenými na malý vysílač. Tričko sleduje životní funkce, např. tepovou frekvenci, obsah kyslíku v krvi, dechovou frekvenci a tělesnou teplotu. Prototyp vypadá jako obyčejné tričko ze silnějšího materiálu, s několika otvory pro konektory podobnými telefonní zásuvce na spodním okraji. Do trička lze zabudovat snímače pro světlo, video či signály GPS. Na tričko lze napojit neomezené množství senzorů. Informace se přenášejí vodivými vlákny vetkanými do trička na malou bezdrátovou vysílačku, která je odešle k dalšímu zpracování – např. do lékařské ordinace nebo monitorovacího centra.

Tento systém lze také využít pro sledování kojenců ohrožených syndromem náhlého úmrtí ve spánku, geriatrických pacientů v pooperační domácí péči a hasičů při práci, zda nejsou vystaveni nadměrnému tepelnému nebo jinému fyzickému zatížení. Jde v podstatě o základní desku počítače nošenou přímo na těle.

### 5.3 další možné oblasti využití inteligentních elektronických oděvů

#### dopravní prostředky

Ačkoliv se dopravní prostředky samy stávají více multifunkční, úroveň začlenění smart textilií do nich je velmi nízká. Vhodný oděv může poskytovat mnoho informací o řidiči. Může indikovat úroveň teplotního komfortu každého z pasažérů, úroveň soustředění řidiče, indikovat vliv alkoholu, léků, únavu apod. Všechny tyto parametry mají přímý vliv na kvalitu řízení. Oděv může ostatně informovat vůz, že není dovoleno pokračovat v jízdě. U rizikové skupiny obyvatel, jako např. u pacientů se srdečním onemocněním, může oblek dát najevo, kdy jsou problémy očekávány, takže řidič může zastavit včas a může být přivolána nezbytná pomoc.

Oděv také může v některých situacích aktivně zasáhnout, může např. usnadnit aplikaci léků nebo poskytnout masáž při dlouhé cestě za účelem udržení kondice a snížení stresu.

Ve Finsku byla vyvinuta kombinéza pro řidiče sněžných skútrů, která má tyto funkce [1]:

- chrání proti extrémnímu chladu a vlhkosti
- poskytuje informace o stavu řidiče
- podává informace o poloze a orientaci (přes globální poziční systém GPS)
- umožňuje zadávání informací přes textilní displej.

#### sport

Vysoce výkonné elektronické sportovní oblečení může sledovat a zároveň zlepšovat výkon při tréninku nebo extrémních sportovních aktivitách. Oblečení na obr. 15 ukazuje integrované textilní senzory – monitor a displej pulsu, krevního tlaku, času, vzdálenosti, rychlosti a kalorií.

Takovéto senzory také mohou zaznamenávat pohyby ruky pro zlepšení golfového nebo tenisového úderu, tělesnou teplotu nebo mohou být použity ke stanovení životosprávy či životního režimu. Textilie s integrovanými senzorickým zařízením mohou být řízeny systémem GPS, a tím může být přesně určena poloha nositele kdykoliv a v jakémkoliv počasí. Textilie s integrovaným GPS, jako je např. lyžařský

oblek, zvyšují bezpečnost, rychlou lokaci a navíc umožňují vyhřívání obleku. Rodiče mohou být jednoduše informováni o místě pohybu jejich dítěte, oblečeného v oděvu obsahujícím GPS.

Firma **Marks & Spencer** [17] vyvinula inteligentní podprsenku, což je sportovní podprsenka, která vyhodnotí zatížení a upraví své rozměry tak, aby poskytovala dokonalou oporu.

#### domácnost

Firma **Philips** [17] např. vyvinula inteligentní zástěru, což je plátěná zástěra s integrovaným obvodem a vestavěným mikrofonom, umožňující ovládat kuchyňské přístroje bez použití rukou, snížit teplotu vařiče či vyvolat recept na obrazovku počítače.

#### zábava

Firma **Philips** [17] vytvořila vybavení zvané „královna nočních klubů“, vybavení pro dívku, která ráda navštěvuje kluby. Senzory skryté v jejím oblečení jí umožní ovlivňovat světla a tempo hudby. Aby mohla komunikovat s lidmi přes taneční parket, rozsvítí se jí na kalhotách světla, kdykoliv s ní chce někdo navázat spojení pomocí pageru.

další oblasti, např. kosmonautika atd.

## 6. EXPERIMENT

Cílem experimentu bylo vytvoření ověřovacího vzorku zvolené technologie tvorby vodivých cest. Tento experiment se tedy zabýval klávesnicí natištěnou na textilním materiálu vodivými pastami metodou sítotisku a ověřením funkčnosti, stability vlastností a mechanické odolnosti dané klávesnice.

### 6.1 Etapy

#### A. Příprava funkčního vzorku klávesnice

1. návrh klávesnice jako ověřovacího vzorku dané technologie, volba metody, vyloučení možnosti odporové metody, volba spínače, velikost čísel, resp. šíře vodivých cest a mezer mezi nimi
2. příprava síta – zpracování návrhu ve vektorovém programu
3. příprava pasty a nosné textilie
4. tisk – metoda sítotisku vodivou pastou na tiskacím stole, úpravy

#### B. Ověření funkčnosti, stability vlastností a mechanické odolnosti vytvořené

##### klávesnice

5. měření elektrického odporu
6. mechanické zkoušky (tah a ohyb) a následné měření elektrického odporu
7. ověření stability vlastností pomocí změn teploty a vlhkosti prostředí v klimatizační komoře: příprava vzorků – montáž měřících hrotů pomocí vodivého lepidla firmy Creative Materials (Příloha 1), měření změn odporu při různých klimatických podmínkách.

**Principem** integrovaného obvodu se snímacím senzorem je vytvoření filmu určitého materiálu na vhodné nosné podložce.

Jde v podstatě o nanesení pasty složené z funkčních, pojivových, vazebních a modifikačních složek a její následné vytvrzení tepelným procesem. Pasta (vodivá, odporová nebo dielektrická) vzniká rozdrčením funkčního materiálu na prášek a přimícháním do pojivové matrice (polymery, rozpouštědla), která obsahuje i další modifikační složky (aditiva pro posun vlastností pasty) a složky pro vytvoření vazby na

substrát (nízkotavná skla, keramika, polymery). Tato směs je odpovídajícím způsobem nanášena na žádanou podložku, nejčastěji metodou sítotisku, používá se však i řada jiných nanášecích metod. Sítotiskem se nanáší vrstva inkoustu (pasty) za podmínek regulovatelných během tisku. Nejobvyklejším vodivým materiálem používaným k sítotiskovým vzorům jsou stříbrem plněné inkousty (pasty). Tento typ inkoustu je preferován proto, že nabízí vysokou vodivost, kterou si udržuje dokonce i po oxidaci.

Po tisku se musí provést ještě dokončovací práce, které závisí na druhu použitých barviv a na charakteru textilního materiálu. Barviva se na vláknech upevňují buď pouhým zasušením, nebo se fixují pařením. Účelem je zajistit fixaci barviva, aby vzniklé vybarvení mělo požadované stálosti. Jde v podstatě o teplotní výpal s přesně definovaným časovým průběhem.

Obvod se doplňuje diskrétními aktivními a pasivními prvky.

Touto technologií se dají realizovat různé senzory – např. teplotní senzory, senzory tlaku, vlhkosti, chemických látek, biosenzory atd. Automaticky tím vzniká možnost vytvořit na jednom substrátu stejnou technologií hned několik snímačů různých fyzikálních a chemických veličin. Vytváří se tím přenosová cesta, tedy fyzikální prostředí, jímž se šíří signál.

Tímto způsobem může být do textilních struktur přemístěno obvyklé elektrické vedení a dokonce celé desky s elektrickým obvodem.

V tomto experimentu byla použita stříbrem plněná vodivá pasta společnosti Creative Materials (Příloha 2):

Parametry:

**Tab. 1: Rozpouštědlo THINNER 112-19**

bod varu	> 190 °C
tlak nasycených par při 20° C	0,2 mm Hg
vzhled a pach	čirá, sladce vonící tekutina
specifická hustota látky (voda = 1)	1,09
rozpustnost ve vodě při 20° C	5,3 %
hustota par	nestanovena
míra vypařování	<0,1

Tab. 2: Extrémně vodivý inkoust (pasta) 112-15

viskozita (počet znaků/cyklů za sekundu)	28 000–30 000
výplň	stříbro
podíl stříbra	>84
odolnost proti zvrásnění	vynikající
objemová rezistence, max. ( $\Omega \cdot \text{cm}$ )	0,00003
měrný odpor vrstvy ( $\Omega/\text{mm}^2$ )	0,010
hydrolytická stálost	vynikající
použitelné teplotní rozpětí ( ° C)	-55 až 200

Tato vodivá pasta byla metodou sítotisku nanесena na tiskacím stroji JOHANESS-ZIMMER – mini – MDF/752 na dva druhy podkladové, resp. nosné textilie. Jednalo se o sypkovinu se složením: 50 % ba, 50 % PES, v plátňové vazbě, plošnou hmotností 133 g/m<sup>2</sup> a s parametry dostavy: osnova 370 nití/10 cm, útek 330 nití/10 cm (modrý vzorek). Druhým materiálem byla prostěradlovina se složením: 70 % ba, 30 % PES, s parametry dostavy 270 nití /10 cm a útku 240 nití/10 cm (bílý vzorek).

Na textilie byl natištěn odlišný počet vrstev vodivé pasty – 3 a 4, a to za podmínek nejvyššího nastavitelného přítlaku – poloha 2, při nejnižší nastavitelné rychlosti tisku – poloha 6.

Metodou sítotisku se na textilní podklad natiskl vodivý vzor, v tomto případě **klávesnice**.

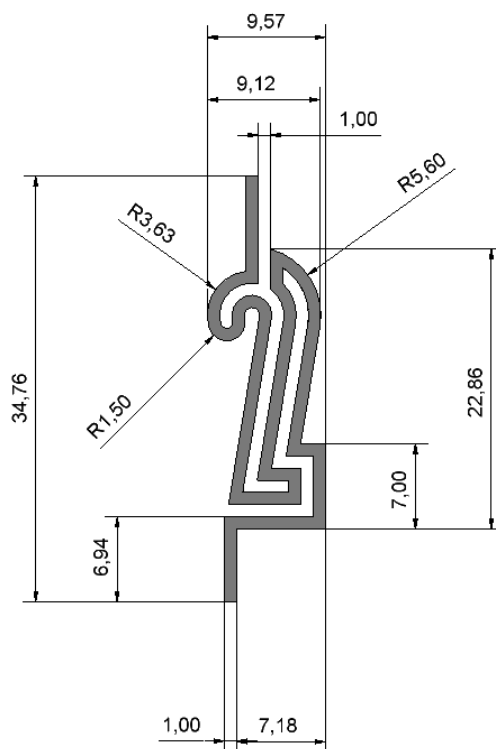
**Možnosti vytvoření klávesnice:**

- princip změny odporu
- princip snímače

#### **6.1.1 Vytvoření klávesnice změnou odporu:**

Při dodržení rozměrů šířky vodivé cesty 1 mm a šířky mezery mezi vodivými cestami také 1 mm je minimální velikost jednoho čísla, respektive jedné klávesy, nevhodná. Např. číslice „2“ má při zachování všech parametrů rozměry přibližně 34 mm x 10 mm (obr. 25). Velikost výsledné klávesnice by byla v tomto případě i vzhledem k umístění – bylo zvoleno předloktí ruky – příliš rozměrná. (Předloktí, resp.

pravý či levý rukáv, bylo zvoleno z důvodu snadné manipulace. Předloktí jedné ruky může být vždy v bezprostřední blízkosti ruky druhé, takže zařízení lze snadno ovládat. Navíc ruce lze snadno „přemístit“ do zorného pole uživatele, tudíž může být zařízení i snadno kontrolováno a je umožněna pohodlnější manipulace.)



Obr. 25: Číslice vytvořená odporovou metodou

Další nevýhodou tohoto způsobu je nekonstantní změna odporu, kdy záleží na místě stisku. Tato nevýhoda se však dá eliminovat malou velikostí klávesy (vzoru), kde v podstatě není možnost dotyku (stisku) v jiném místě. Navíc je zde otázka, zda opravdu dojde k přerušení odporu, poněvadž při stisku (dotyku) rukou jsou pokaždé vytvořeny jiné podmínky – mění se vlhkost, která má vliv na odpor, dále teplota a další veličiny. S nevýhodou nekonstantní změny odporu také souvisí obtížnější vyhodnocování dat. V neposlední řadě je nevýhodou tohoto způsobu také to, že odporovou cestou musí procházet proud stále, což má za následek větší spotřebu energie, resp. neustálé zásobování energií.

Z těchto důvodů se jako vhodnější řešení jeví vytvoření klávesnice pomocí principu spínače.

### 6.1.2 Vytvoření klávesnice metodou spínače:

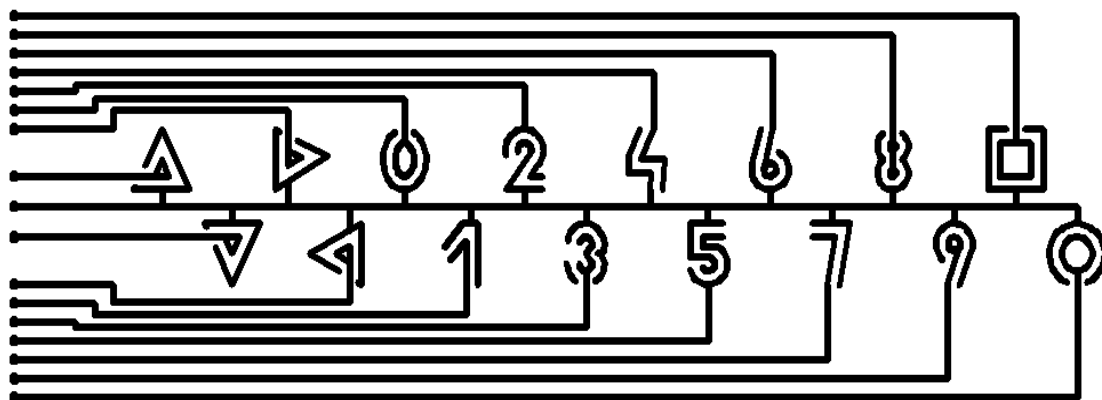
Výhodou tohoto řešení je skutečnost, že se systém neustále nachází ve dvou stavech:

1. proud systémem protéká
2. proud systémem neprotéká

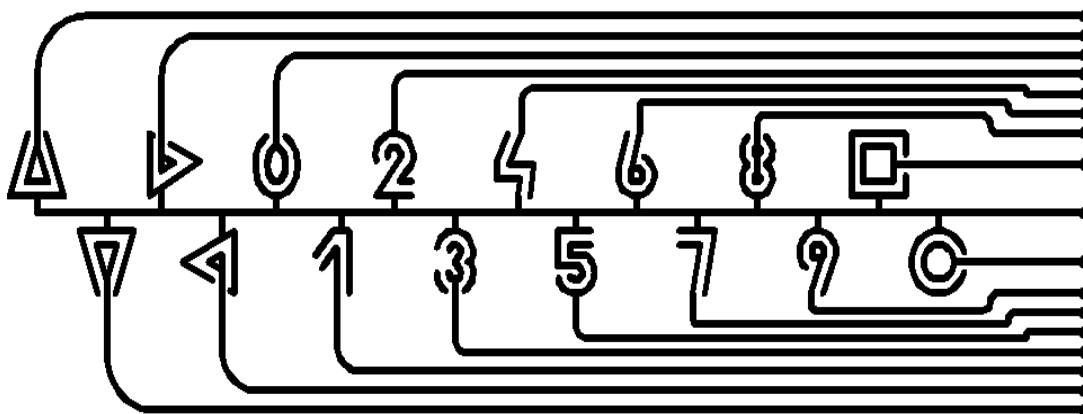
Proud protéká pouze tehdy, když dojde k sepnutí (= stisku). Oproti odporovému způsobu je zde jednodušší logika vyhodnocování. Při použití tohoto způsobu lze využít i více masek (barev).

Zásadní výhodou tohoto způsobu řešení je i velikost klávesnice, respektive velikost každého jednoho prvku (čísla, klávesy).

Při návrhu klávesnice byla jako přijatelná velikost jedné klávesy uvažována plocha, resp. čtverec o rozměrech 10 mm x 10 mm, při zachování šíře vodivé cesty 1 mm a šíře vzdálenosti mezi jednotlivými cestami také 1 mm. Při vytváření tvaru klávesnice a uspořádání jednotlivých prvků byla snaha o eliminaci „efektu mobilního telefonu“, kdy jednotlivé klávesy jsou umístěny těsně vedle sebe a v některých případech stisk jedné konkrétní klávesy může uživateli činit potíže. Navíc, pokud by byla čísla (klávesy) v jedné řadě, výsledná klávesnice by byla příliš dlouhá a mohla by se při užívání mechanicky deformovat, a to zejména v oblasti zápěstí a lokte. Dalším aspektem, který by mohl ovlivňovat výsledné parametry a vlastnosti celého systému, je volba buď pravoúhlého řešení vedení vodivých cest, nebo změna směru vodivé cesty pomocí rádiů. Je otázkou, která z těchto dvou variant bude vykazovat lepší hodnoty v mechanickém namáhání.





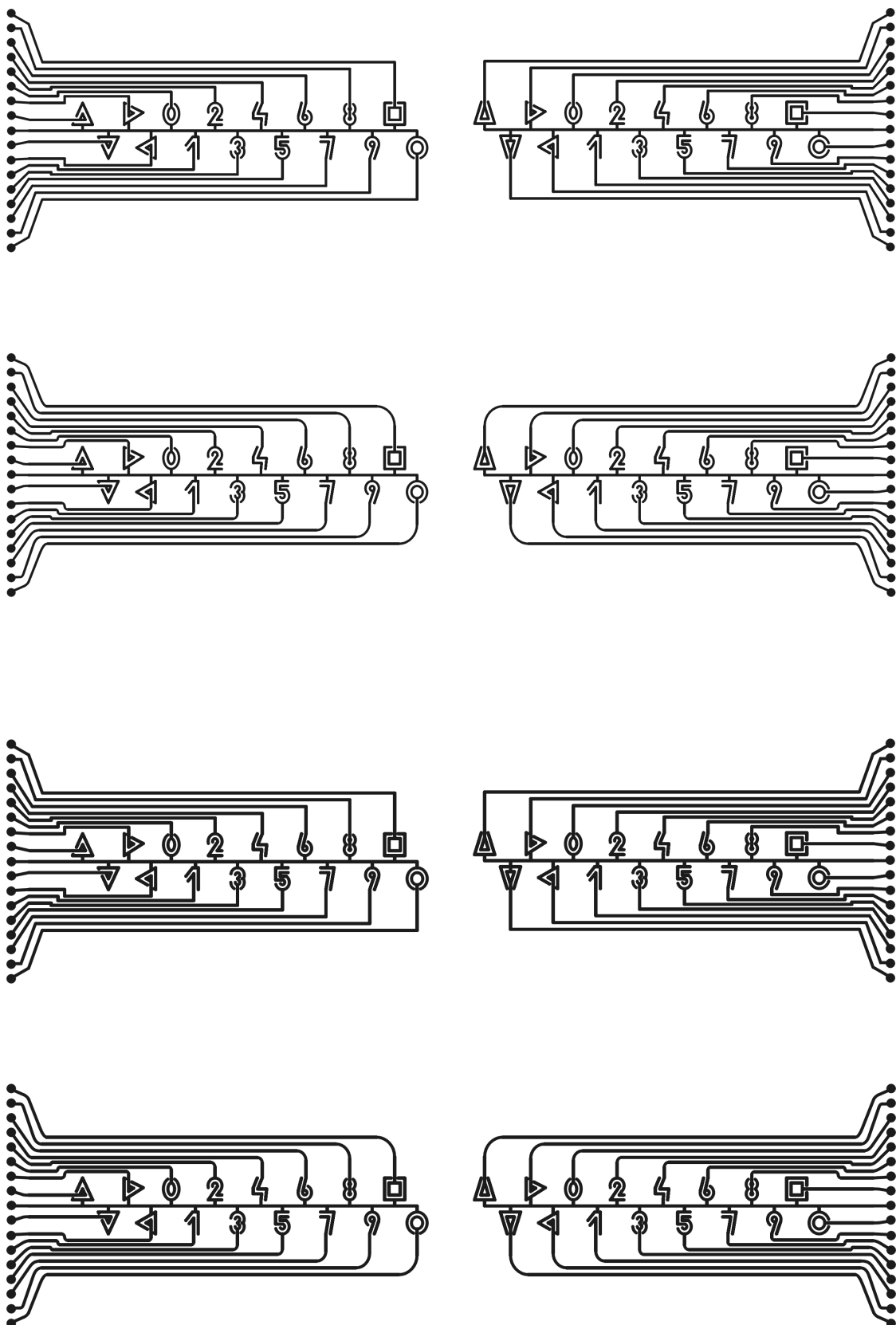


Obr. 26: Klávesnice vytvořená spínačovou metodou, pravoúhlá varianta a varianta, kde pravý úhel nahrazuje rádius

Klávesnice takto vytvořená byla přenesena na síto, a to v těchto variantách:

- pravoúhlá levá varianta s šíří cest a mezer 0,75 mm
- pravoúhlá levá varianta s šíří cest a mezer 1 mm
- pravoúhlá pravá varianta s šíří cest a mezer 1 mm
- pravoúhlá pravá varianta s šíří cest a mezer 0,75 mm
- rádiusová levá varianta s šíří cest a mezer 1 mm
- rádiusová levá varianta s šíří cest a mezer 0,75 mm
- rádiusová pravá varianta s šíří cest a mezer 1 mm
- rádiusová pravá varianta s šíří cest a mezer 0,75 mm

Viz obr. 27. Všechny tyto varianty byly natištěné v počtu tří a čtyř vrstev.



Obr. 27: Umístění variant klávesnice na síto

Po natištění byla vodivá pasta zafixována v sušící komoře MEMMERT, kde byla po dobu 5 minut vystavena teplotě 110 °C (Příloha 3).

Na takto ošetřené textilii, resp. na tištěném vzoru byl měřen elektrický odpor.

## 6.2. Měření elektrického odporu [28]

### 6.2.1 Podmínky měření

Při měření je třeba přihlédnout k možnému vlivu prostředí (změně teploty, barometrického tlaku, vlhkosti apod.), ve kterém se projevuje působení měřené fyzikální veličiny na měřící zařízení a na samotnou měřenou veličinu. Je třeba rozlišovat laboratorní, provozní, terénní a jiné podmínky měření, protože tyto podmínky mohou podstatně ovlivnit výběr metody měření příslušné měřené veličiny.

Stejně tak je důležité analyzovat vliv měřícího zařízení (hlavně jeho prvního členu – snímače) na hodnotu měřené veličiny (např. změnou podmínek měření, zatížením zdroje měřené veličiny). Také je třeba si uvědomit, že vzájemné působení prostředí (měřené veličiny) a měřícího zařízení je nevyhnutelné, neboť pouze na tomto základě je možný přenos informace o hodnotě měřené veličiny.

### 6.2.2 Metody měření

Měření jakékoliv fyzikální veličiny lze rozdělit na absolutní a relativní, přímé a nepřímé.

Při *absolutní* metodě ukáže měřidlo hodnotu veličiny přímo (např. měření hmotnosti na elektronické váze, měření elektrického odporu ohmmetrem), při *relativní* metodě se porovnává příslušná vlastnost měřeného tělesa s jednotkovými tělesy (např. měření hmotnosti na rovníramenných vahách, měření elektrického odporu odporovou dekádou).

*Přímá* metoda spočívá v porovnávání s měřidlem se stejnou vlastností (např. měření délky metrem, měření času stopkami) a principem *nepřímé* metody je měření důsledku dané veličiny (např. měření teploty pomocí délkové roztažnosti, měření elektrického proudu pomocí magnetické síly).

**Elektrický odpor** (*rezistance*) je podíl stejnosměrného napětí  $U$  na vodiči a proudu  $I$ , který jím prochází. Tato věta vyjadřuje Ohmův zákon v integrálním tvaru

$$R = \frac{U}{I} \qquad [R] = \text{V} \cdot \text{A}^{-1} = \Omega \qquad (1)$$

Elektrický odpor lze měřit různými metodami, což souvisí jednak s rozsahem hodnot měřených odporů a jednak s požadovanou přesností měření. V těchto metodách se většinou používá zapojení se zdroji konstantního stejnosměrného proudu v ustáleném stavu, ale lze použít i zdrojů střídavých proudů, což obvykle nevyžaduje žádné zásadní změny ve způsobu měření

Existují metody přímé, jež jsou založeny na bezprostřední aplikaci Ohmova zákona (1), a řada nepřímých metod, jež k určení neznámého odporu používají v zásadě porovnání s jedním nebo více odpory známými.

### Přímé metody

Metoda stanovení neznámého odporu vychází ze základní definice elektrického odporu, tj. Ohmova zákona. Podle vztahu (1) je tedy třeba změřit napětí na příslušném vodiči a proud, který jím prochází.

Na přímé metodě je též založeno měření elektrického odporu rezistoru ohmmetrem. Tento přístroj je v podstatě ampérmetr, jenž měří proud protékající rezistorem o neznámém odporu  $R_x$ , přičemž zdroj napětí  $U$  (obvykle baterie) je už v přístroji zabudován. Údaj na displeji přístroje je pak uváděn přímo v ohmech.

### Nepřímé metody

Mezi nejběžnější nepřímé metody měření elektrického odporu patří např. metoda substituční, srovnávací či můstková. Nejdůležitější a nejčastěji používanou je můstková metoda, jíž lze využít nejen pro měření odporu rezistorů, ale i pro měření jiných prvků elektrických obvodů (např. kapacit a indukčností ve střídavých můstcích). Touto metodou lze obvykle získat též nejpřesnější výsledky.

Na principu můstkové metody jsou pak založeny přístroje speciálně konstruované pro měření elektrických odporů (ale i indukčností a kapacit) v technické praxi.

## Rušivé vlivy a jejich omezení

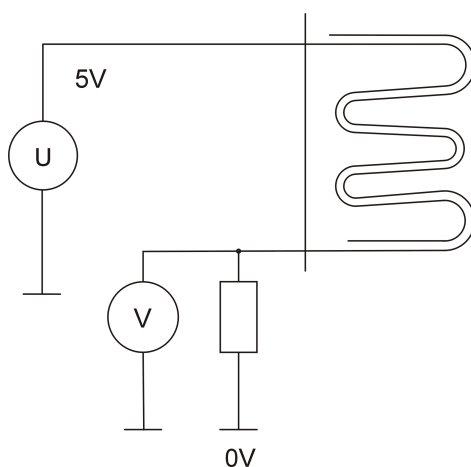
Přesnost měření je podstatně ovlivněna cizími vlivy, s nimiž měřicí metoda obvykle nepočítá a jejichž souvislost s měřenou veličinou často není ani prokázána nebo ani známa. Z těchto důvodů je většinou velmi pracné a časově náročné korigovat hlavní cizí vlivy. Proto je snaha jejich rušivý vliv na výsledek měření co nejvíce omezit. Při měření stejnosměrným proudem je nejdůležitější vliv termoelektrických napětí, přechodových odporů přepínacích zařízení a svodových proudů. Při měření střídavým proudem ovlivňují výsledek měření rušivá magnetická a elektrická pole, popř. i svodové proudy způsobené nedokonalostí izolace měřícího zařízení.

Při řešení zadaného úkolu je zapotřebí stanovit jednoznačné zadání:

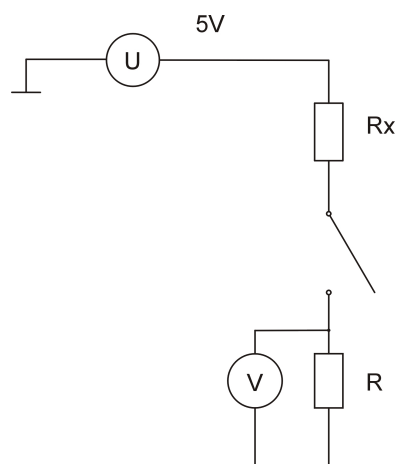
- a) funkční klávesnice, vytvořené na principu dvouhodnotové změny odporu (ano x ne, nekonečný odpor R, který nelze změřit multimetrem x měřitelný R)
- b) vyhodnocení možnosti testování stisku, resp. kontaktu klávesnice na principu měření odporu

Rozdíl mezi a) a b):

- a) lze měřit dvoustavově, není tedy podstatná konkrétní hodnota odporu, ale skutečnost, že je měřitelný.
- b) měří se hodnota R. Tento způsob je problematický v tom, že hodnota R se bude lišit v závislosti na místě stisku.



Obr. 28: Elektrický obvod (spínač)



$R_x$ ..... . reprezentuje rezistivitu pokožky

Spínač ..... reprezentuje klávesu

Obr. 29: Náhradní obvod

V ideálním případě nejde přes voltmetr žádný proud. Sledují se dva stavy:

1. spínač není spojen  $\rightarrow$  obvodem neteče proud  $\rightarrow$  neteče tedy ani rezistorem  $R \rightarrow$  **na rezistoru  $R$  je 0 V.**
2. spínač je spojen  $\rightarrow$  obvodem začne protékat proud  $\rightarrow$  dle  $U=RI$  se proud napětí zdroje (5 V) rozdělí mezi  $R$  a  $R_x$  v poměru jejich rezistivit  $\rightarrow$  voltmetr ukáže napětí na  $R \rightarrow$  **vyhodnocení stisku spínače.**

Hodnoty  $U$  a  $R$  lze volit, ale  $R_x$  je proměnné v závislosti na stavu pokožky.

Informace o tom, zda došlo ke stisku, se získá měřením napětí na definovaném  $R$ .

## 6.3 Ověření funkčnosti, stability vlastností a mechanické odolnosti vytvořené klávesnice

### 6.3.1 Mechanická odolnost:

Klávesnice, vytvořená výše popsaným způsobem, byla vystavena mechanickému působení, za účelem zjištění její mechanické odolnosti, resp. zjištění změn elektrických vlastností klávesnice vlivem mechanického působení na takto potištěnou textilií. Lze předpokládat, že stejně jako každý jiný oděvní materiál, bude i materiál potištěný

elektricky vodivou pastou vystaven účinkům vnějšího i vnitřního prostředí. Mezi nejvýznamnější vlivy obou těchto prostředí lze počítat teplo a vlhkost. Kromě těchto vlivů působí na oděv ještě silové účinky, kdy je oděv vystaven určité zátěži při pohybu nositele a také při údržbě oděvu. Tento mechanický účinek se ještě zvyšuje působením tepla a vlhka.

Mechanické zkoušky simulovaly podmínky, kterým je vystaven oděv, a zahrnovaly testy na mechanické namáhání v tahu a v ohybu.

#### A) *tah*:

jde o silové namáhání textilie v tahu ve směru její plochy. Vzhledem k tomu, že u takového oděvní textilie není nutné předpokládat namáhání v tahu, které by vedlo k jejímu přetrhu, lze zde uplatnit pouze režimy opakovaného namáhání, které simulují skutečné namáhání oděvních textilií.

Tento test byl prováděn na přístroji Automatic Tensile & Shear Tester-KES-FB1, což je automatický model pro testování tahových a smykových vlastností textilií, papíru, netkaných textilií a fólií (Příloha 4).

Vzorky o rozměrech 13 cm x 20 cm byly vystaveny tahové síle nejprve ve směru osnovy a následně ve směru útku (Příloha 5).

Po této mechanické zkoušce byl měřen odpor klávesnice na jednotlivých číslech, resp. klávesách.

#### B) *ohyb*:

Tento test měl prokázat vliv ohybu textilie na celkovou vodivost tištěného vzoru, resp. to, zda dojde k takovému poškození vrstvy vodivé pasty, které by mělo za následek změnu elektrických vlastností vzorku.

Vzorky byly nejprve vystaveny jednomu cyklu namáhání v ohybu a následně byl změřen odpor. Poté byly vzorky vystaveny cyklickému namáhání – pěti- a desetinásobnému – a opět byl měřen elektrický odpor.

Test byl prováděn na stroji Automatic Pure Bending Tester - KES-FB2 (Příloha 7). Jde o automatický model pro testování ohybových vlastností (ohybová tuhost, ohybový moment) textilií, netkaných textilií, přízí.

Je nutné podotknout, že při obou mechanických testech šlo o výsledek samotného namáhání, tedy o mechanické poškození potištěné textilie, a nikoliv o sledování průběhu testů. Cílem tedy bylo měření elektrického odporu vodivé pasty, resp. vzoru, natištěném na textilií po určitém mechanickém namáhání, nikoliv měření parametrů mechanického namáhání textilie samotné.

### 6.3.2 Ověření funkčnosti, stability vlastností

Jak bylo zmíněno výše, na textilií, která je součástí oděvu, působí vlivy:

- vnějšího prostředí, což je zejména teplota a vlhkost vzduchu, déšť, sluneční záření, nečistoty ovzduší atd.
- vnitřního prostředí, tedy hlavně vlhkost a teplo organismu a chemické působení potu.

Vlivy obou těchto prostředí jsou rozhodující nejenom pro vlastnosti nosné textilie, ale zejména pro vlastnosti a chování elektricky vodivé pasty, kterou je na nosnou textilií natištěn požadovaný vzor. Z výše uvedených mechanických zkoušek vyplynulo, že pokud je takto potištěná textilie vystavena určité teplotě, při které dojde k tání polymerů, jež jsou součástí vodivé pasty, obnoví se elektrické vlastnosti tahem poškozeného vzoru. Dále byly uvažovány fyzikální zákonitosti, co se týče elektrické vodivosti jednotlivých materiálů. Vzhledem k tomu, že voda je elektricky vodivý materiál, byly zkoumány změny elektrických vlastností textilního vzorku, potištěného elektricky vodivou pastou za různých teplot a různých vlhkostí vzduchu.

Testy byly prováděny v klimatizační komoře Binder KBWF 240 (Příloha 8). Nejprve byly vzorky vystaveny klimatickým podmínkám, tedy teplotě 20 °C a vlhkosti  $\varphi = 65 \%$ . Byl zjišťován elektrický odpor tištěného vzoru za těchto podmínek. Následně byla měněna vlhkost prostředí a bylo zkoumáno, zda a při jakém množství vody ve vzduchu při konstantní teplotě 20 °C dojde k tomu, že vlivem vysokého podílu vody se celá textilie stane vodivou. Byly zaznamenávány změny elektrického odporu při hodnotách vlhkosti. Dále byla zvýšena teplota na 30 °C a byly zkoumány změny elektrických vlastností při změnách vlhkosti a opět, při jakém % vody dojde k vodivosti celé textilie. Při těchto zkouškách musí být zvážen rozdíl mezi relativní a absolutní vlhkostí vzduchu. Totéž bylo zkoumáno při teplotě 37 °C a 5 °C. Elektrické vlastnosti, resp. velikost odporu jednotlivých kláves, byly snímány pomocí univerzální měřící



ústředny ALMEMO 2290-8 (Příloha 9) a ověřovány multimetrem HHM 290 (Příloha 10).

Jelikož byl vzorek uzavřen v klimatizační komoře, nebylo z důvodů zachování nastavených podmínek možné provádět kontakt (stisk) klávesnice prstem. Proto byl použit čtvercový měděný plíšek se stranou o rozměru 10 mm a měrným odporem  $0,0178 \text{ p}/\mu\Omega\text{m}$  při  $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

## 6.4 Výsledky testů

Výrobce zaručuje funkčnost vodivé pasty v teplotním rozmezí  $-55 \text{ }^{\circ}\text{C}$  až  $200 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .  
Výsledky provedeného testu potvrdily výrobcem zaručovanou funkčnost vodivé pasty.

Po natisknutí vodivého vzoru na textilie a následném zafixování pasty byl na vzorcích měřen elektrický odpor.

Elektrický odpor byl měřen pomocí multimetru Omega HHM 290 (Příloha 10), měřící s přesností  $0,3 \text{ } \%$  ze čtené hodnoty  $\pm 3 \text{ digit}$ y (až do  $4,3 \text{ megaohmů}$ ).

➤ **Naměřené hodnoty elektrického odporu na dvou druzích nosné textilie**

A) modrá sytkovina

Tab. 2: vzorek 3/0,75

Vzorek	3/0,75 A	3/0,75 B	3/0,75 C	3/0,75 D	směrodatná
klávesa	[kΩ]	[kΩ]	[kΩ]	[kΩ]	odchylka
0	26,0	10,6	15,2	9,2	6,6
1	12,2	10,8	41,9	10,9	13,3
2	15,9	12,2	10,6	12,9	1,9
3	19,5	12,3	16,7	10,9	3,4
4	8,2	7,6	22,2	8,3	6,1
5	15,1	6,2	30,2	19,8	8,7
6	22,2	14,7	10,7	26,0	6,0
7	9,2	13,2	11,8	9,8	1,6
8	11,1	6,9	27,0	34,0	11,1
9	17,3	12,9	18,6	15,9	2,1
↑	107,0	5,9	26,2	19,0	39,6
↓	223,0	5,5	396,0	24,0	159,7
←	32,0	6,1	28,8	23,3	10,0
→	25,8	6,1	28,2	7,0	10,3
	29,0	5,2	4,4	15,6	10,0
○	112,0	11,7	6,2	14,0	44,0
s. odchylka	55,7	3,2	91,6	7,3	

Tab. 3: vzorek 3/1

Vzorek	3/1 A	3/1 B	3/1 C	3/1 D	směrodatná
klávesa	[kΩ]	[kΩ]	[kΩ]	[kΩ]	odchylka
0	212,2	370,9	220,3	272,2	63,2
1	5,6	22,9	10,0	13,2	6,4
2	7,0	18,3	14,8	10,6	4,3
3	217,1	300,6	215,4	188,8	42,0
4	10,2	13,3	14,3	9,3	2,1
5	292,0	262,0	283,4	162,9	51,5
6	0,5	15,5	8,0	11,8	5,6
7	10,8	12,3	7,8	36,0	11,2
8	0,4	130,5	4,7	120,2	61,5
9	10,4	16,7	11,2	23,5	5,2
↑	186,0	0,6	156,7	419,0	149,5
↓	178,0	0,5	126,6	303,5	108,6
←	149,0	348,0	113,4	227,4	90,0
→	163,0	0,5	206,8	347,5	123,8
	395,0	21,9	0,4	121,0	157,1
○	5,0	108,0	0,5	146,8	63,8
s. odchylka	121,7	132,3	97,1	128,8	

Tab. 4: vzorek 4/0,75

Vzorek	4/0,75 A	4/0,75 B	4/0,75 C	4/0,75 D	směrodatná
klávesa	[kΩ]	[kΩ]	[kΩ]	[kΩ]	odchylka
0	15,8	7,8	17,2	6,6	4,7
1	17,2	9,5	24,5	8,2	6,5
2	12,2	4,2	20,6	6,3	6,4
3	17,7	11,8	8,8	5,2	4,6
4	9,2	9,2	19,5	6,8	4,9
5	13,3	7,4	14,3	6,2	3,5
6	14,2	18,5	16,5	11,2	2,7
7	5,6	6,2	7,6	12,4	2,7
8	5,3	11,6	8,2	5,8	2,5
9	5,5	13,2	5,6	9,3	3,2
↑	14,2	15,9	129,0	6,9	50,6
↓	6,4	300,0	125,0	17,4	117,9
←	6,0	268,0	16,2	0,4	112,9
→	10,2	15,2	10,6	0,5	5,4
	9,1	10,4	8,8	9,2	0,6
○	5,2	5,6	5,3	3,6	0,8
s. odchylka	4,4	90,7	38,1	4,1	

Tab. 5: vzorek 4/1

Vzorek	4/1 A	4/1 B	4/1 C	4/1 D	směrodatná
klávesa	[kΩ]	[kΩ]	[kΩ]	[kΩ]	odchylka
0	55,2	117,0	64,0	106,0	26,4
1	12,8	6,2	23,2	7,3	6,7
2	15,6	8,9	11,2	7,8	3,0
3	75,7	92,8	81,4	73,9	7,4
4	9,9	7,8	11,8	4,3	2,8
5	105,2	80,3	100,8	4,2	40,6
6	118,3	11,2	15,2	7,4	46,4
7	7,8	5,4	14,8	3,2	4,4
8	125,2	51,1	129,1	44,8	39,7
9	10,5	6,2	8,4	6,1	1,8
↑	42,5	212,1	54,4	175,5	73,9
↓	55,0	179,5	61,7	199,9	66,1
←	52,2	134,8	9,3	125,0	52,0
→	135,4	190,7	54,5	121,4	48,5
	164,0	59,6	196,2	25,5	70,7
○	170,0	44,0	155,6	62,9	55,3
s. odchylka	55,0	69,7	55,9	63,9	

C) bílé plátno

Tab. 6: vzorek 4/0,75

Vzorek	4/0,75 A	4/0,75 B	4/0,75 C	4/0,75 D	směrodatná
klávesa	[kΩ]	[kΩ]	[kΩ]	[kΩ]	odchylka
0	18,2	125	15,6	65,9	44,5
1	18,6	19,9	24,8	24,4	2,7
2	21,5	15,2	22,2	34,4	7,0
3	6,8	89,9	32,8	93,8	37,2
4	7,9	4,4	38,7	15,7	13,4
5	6,8	9,5	40,3	30,1	14,0
6	8,2	12,6	16,9	19,3	4,2
7	9,3	13,8	29,6	33,9	10,3
8	9,4	56,7	40,6	142,6	49,4
9	11,5	17,2	26,6	37,3	9,8
↑	73,4	166,2	27,9	44,2	53,5
↓	71,9	129,1	202,3	54,8	53,4
←	10,2	113,9	40,9	31,8	43,5
→	18,5	144,5	179,8	21	72,3
	8,8	64,2	38,9	175	62,8
○	15,6	7	24,6	169	66,7
s. odchylka	20,5	55,6	54,0	54,9	

Nejstabilnější hodnoty elektrického odporu vykazují tyto vzorky:

3/0,75 B, 3/0,75 D, 4/0,75 A, 4/0,75 D natištěné na modré sypkovině. Jedná se o varianty, u kterých je šíře vodivé cesty 0,75 mm. Co se týče vlivu pravého úhlu či rádiusu, obě tyto varianty jsou zastoupeny jak mezi nejstabilnějšími vzorky, tak mezi vzorky, vykazujícími extrémně vybočující hodnoty. Proto lze konstatovat, že tvar vodivých cest neovlivňuje zásadním způsobem elektrické vlastnosti natištěného vzoru.

Z celkového porovnání hodnot však vyplývá, že u všech vzorků se vyskytují vybočující měření dvojího druhu:

1. hodnoty se nachází řádově ve stovkách kΩ: Tato vybočující měření jsou způsobena defektem vodivé cesty. Za defekt lze považovat přerušení vodivé cesty nečistotou, mechanickým porušením nebo vzduchovou bublinou. Obr. 30.



Obr. 30: Defekty vodivých cest

2. hodnoty se nachází řádově v desetinách  $k\Omega$ : vybočující hodnoty tohoto druhu jsou způsobené „slitím“ vzoru. Není zde tedy dodržena požadovaná šíře mezer mezi jednotlivými vodivými cestami, čímž dochází k tomu, že vzorem prochází proud neustále. Obr. 31



Obr. 31: Slitý vzor

Příčinou tohoto problému může být nevhodná viskozita vodivé pasty, resp. poměr mezi pastou a ředidlem. V neposlední řadě zde působí také povrchové vlastnosti potiskované textilie, tedy její hrubost a povrchové napětí. Co se týče podmínek tisku, lze upravit velikost přitlaku a rychlost stěrky stroje.

➤ Porovnání hodnot elektrického odporu z hlediska dvou druhů nosné textilie

Nejprve byly měřeny hodnoty elektrického odporu na všech klávesách, poté byly vybrány pouze klávesy s nevybočujícími hodnotami.

Tab. 7: Porovnání hodnot odporu na dvou druzích textilie – vzorek 3/0,75 C

7a: na všech klávesách

Vzorek	3/0,75 C modrý	3/0,75 C bílý
klávesa	R[kΩ]	R[kΩ]
0	15,2	18,2
1	41,9	18,6
2	10,6	21,5
3	16,7	6,8
4	22,2	7,9
5	30,2	6,8
6	10,7	8,2
7	11,8	9,3
8	27,0	9,4
9	18,6	11,5
↑	26,2	73,4
↓	396,0	71,9
←	28,8	10,2
→	28,2	18,5
	4,4	8,8
○	6,2	15,6

7b: na „funkčních“ klávesách

Vzorek	3/0,75 C modrý	3/0,75 C bílý
klávesa	R[kΩ]	R[kΩ]
0	15,2	18,2
1	41,9	18,6
2	10,6	21,5
3	16,7	6,8
4	22,2	7,9
5	30,2	6,8
6	10,7	8,2
7	11,8	9,3
8	27,0	9,4
9	18,6	11,5
↑	26,2	73,4
←	28,8	10,2
→	28,2	18,5
	4,4	8,8
○	6,2	15,6
průměr R	19,9	16,3
s. odchylka	10,1	16,0
chyba prům.	2,6	4,1

Tab. 8: Porovnání hodnot odporu na dvou druhích textilie – vzorek 3/1 A

8a: na všech klávesách

Vzorek	3/1 A modrý	3/1 A bílý
klávesa	R[kΩ]	R[kΩ]
0	212,2	65,9
1	5,6	24,4
2	7,0	34,4
3	217,1	93,8
4	10,2	15,7
5	292,0	30,1
6	0,5	19,3
7	10,8	33,9
8	0,4	142,6
9	10,4	37,3
↑	186,0	44,2
↓	178,0	54,8
←	149,0	31,8
→	163,0	21,0
	395,0	175,0
○	0,5	169,0

8b: na „funkčních“ klávesách

Vzorek	3/1 A modrý	3/1 A bílý
klávesa	R[kΩ]	R[kΩ]
1	5,6	24,4
2	7,0	34,4
4	10,2	15,7
6	0,5	19,3
7	10,8	33,9
9	10,4	37,3
průměr R	7,4	27,5
s. odchylka	3,4	7,6
chyba prům.	1,4	3,1

Tab. 9: Porovnání hodnot odporu na dvou druzích textilie – vzorek 4/0,75 B

9a: na všech klávesách

Vzorek	<b>4/0,75 B modrý</b>	<b>4/0,75 B bílý</b>
klávesa	R[kΩ]	R[kΩ]
0	7,8	15,6
1	9,5	24,8
2	4,2	22,2
3	11,8	32,8
4	9,2	38,7
5	7,4	40,3
6	18,5	16,9
7	6,2	29,6
8	11,6	40,6
9	13,2	26,6
↑	15,9	27,9
↓	300,0	202,3
←	268,0	40,9
→	15,2	179,8
	10,4	38,9
○	5,6	24,6

9b: na „funkčních“ klávesách

Vzorek	<b>4/0,75 B modrý</b>	<b>4/0,75 B bílý</b>
klávesa	R[kΩ]	R[kΩ]
0	7,8	15,6
1	9,5	24,8
2	4,2	22,2
3	11,8	32,8
4	9,2	38,7
5	7,4	40,3
6	18,5	16,9
7	6,2	29,6
8	11,6	40,6
9	13,2	26,6
↑	15,9	27,9
	10,4	38,9
○	5,6	24,6
<b>průměr R</b>	<b>10,1</b>	<b>29,2</b>
<b>s. odchylka</b>	<b>4,0</b>	<b>8,3</b>
<b>chyba prům.</b>	<b>1,1</b>	<b>2,3</b>



Tab. 10: Porovnání hodnot odporu na dvou druzích textilie – vzorek 4/1 D

10a: na všech klávesách

Vzorek	4/1 D modrý	4/1 D bílý
klávesa	R[kΩ]	R[kΩ]
0	106,0	125,0
1	7,3	19,9
2	7,8	15,2
3	73,9	89,9
4	4,3	4,4
5	4,2	9,5
6	7,4	12,6
7	3,2	13,8
8	44,8	56,7
9	6,1	17,2
↑	175,5	166,2
↓	199,9	129,1
←	125,0	113,9
→	121,4	144,5
	25,5	64,2
○	62,9	7,0

10b: na „funkčních“ klávesách

Vzorek	4/1 D modrý	4/1 D bílý
klávesa	R[kΩ]	R[kΩ]
1	7,3	19,9
2	7,8	15,2
4	4,3	4,4
5	4,2	9,5
6	7,4	12,6
7	3,2	13,8
9	6,1	17,2
průměr R	5,8	13,2
s. odchylka	1,7	4,7
chyba prům.	0,6	1,8

Z uvedeného srovnání vyplývá, že stabilnější hodnoty elektrického odporu vykazuje klávesnice natištěná na modré sypkovině. To je s největší pravděpodobností způsobeno parametry tohoto materiálu, zejména hustotou dostavy a hladkostí povrchu. U bílého plátna, které má menší hustotu dostavy a větší hrubost povrchu, proniká vodivá pasta do reliéfu povrchu materiálu, a tím zamezuje vytvoření souvislé hladké vrstvy.

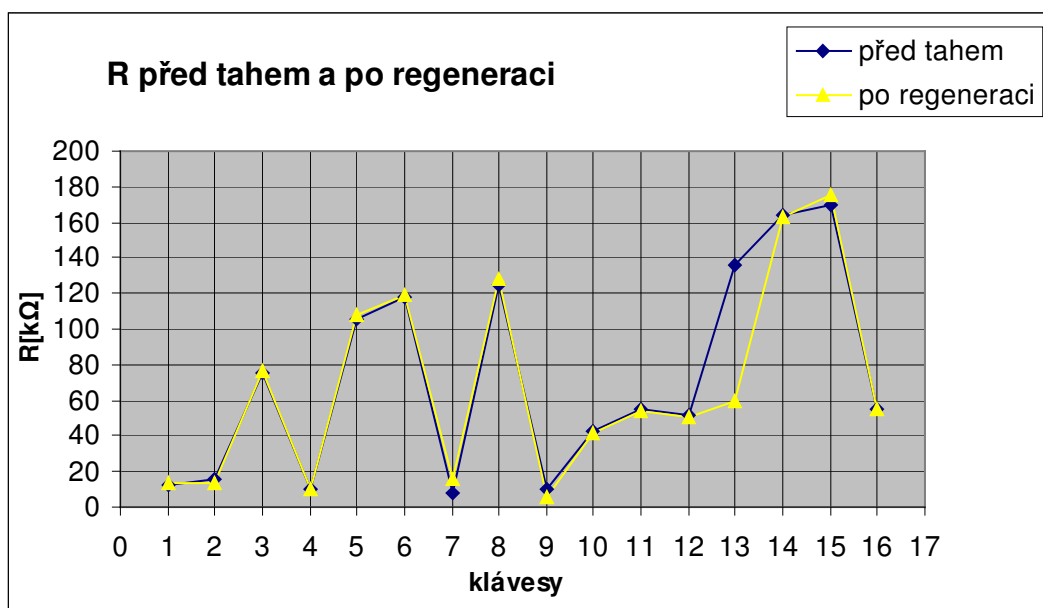
➤ Elektrický odpor kláves z hlediska mechanického namáhání – TAHU

Tab. 11: vzorek 4/1 A z hlediska tahu

	R1[kΩ]	R2 *	R3[kΩ]	rel. změna R
Vzorek	před tahem	po tahu	po regeneraci	$\delta R = (R1-R3)/R1$
klávesa	4/1 A	4/1 A	4/1 A	4/1 A
1	12,8	0	13,3	4 %
2	15,6	0	13,2	15 %
3	75,7	1	76,3	1 %
4	9,9	1	10,2	3 %
5	105,2	0	107,4	2 %
6	118,3	0	119,6	1 %
7	7,8	0	15,2	95 %
8	125,2	1	128,3	3 %
9	10,5	0	5,3	50 %
↑(10)	42,5	1	41,9	1 %
↓(11)	55	1	54,3	1 %
←(12)	52,2	0	51	2 %
→(13)	135,4	1	59,6	56 %
(14)	164	1	162,7	1 %
○(15)	170,1	1	175,7	3 %
0(16)	55,2	1	55	0 %

\* hodnota **1** .... odpor naměřen

hodnota **0** .... odpor nenaměřen, cesta přerušená (poškozená)



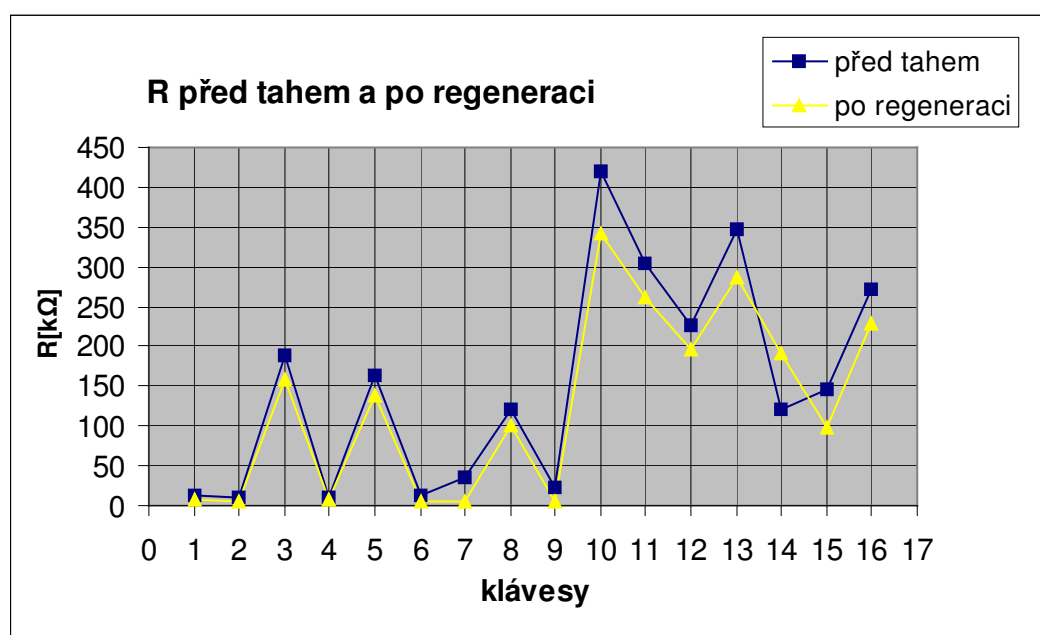
Obr. 32: Graf odporu na klávesách před tahem a po regeneraci – vzorek 4/1 A

Tab. 12: vzorek 3/1 D z hlediska tahu

	<b>R<sub>1</sub>[kΩ]</b>	<b>R<sub>2</sub> *</b>	<b>R<sub>3</sub>[kΩ]</b>	<b>rel. změna R</b>
Vzorek	před tahem	po tahu	po regeneraci	$\delta R = (R_1 - R_3)/R_1$
klávesa	3/1 D	3/1 D	3/1 D	3/1 D
1	13,2	0	8,2	38 %
2	10,6	0	4,3	59 %
3	188,8	1	159,2	16 %
4	9,3	1	8,6	8 %
5	162,9	0	139,1	15 %
6	11,8	0	4,8	59 %
7	36	0	5,2	86 %
8	120,2	1	100,8	16 %
9	23,5	0	4,3	82 %
↑(10)	419	1	342,1	18 %
↓(11)	303,5	1	260,4	14 %
←(12)	227,4	0	196,3	14 %
→(13)	347,5	1	286,4	18 %
(14)	121	1	192,2	59 %
○(15)	146,8	1	97,9	33 %
0(16)	272,2	1	228,1	16 %

\* hodnota **1** .... odpor naměřen

hodnota **0** .... odpor nenaměřen, cesta přerušená (poškozená)



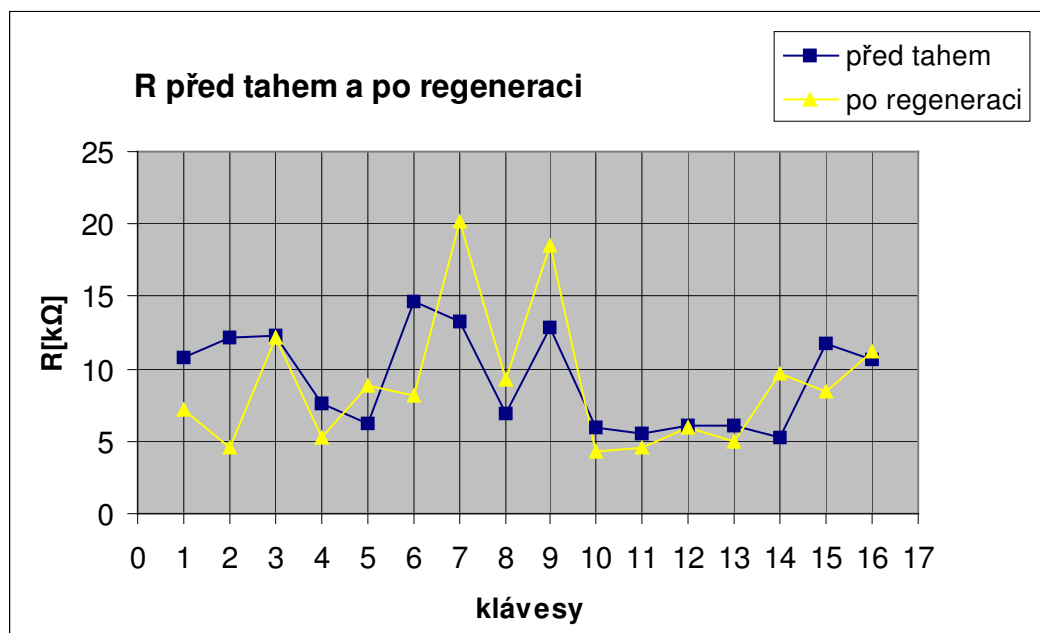
Obr. 33: Graf odporu na klávesách před tahem a po regeneraci – vzorek 3/1 D

Tab. 13: vzorek 3/0,75 B z hlediska tahu

	<b>R<sub>1</sub>[kΩ]</b>	<b>R<sub>2</sub> *</b>	<b>R<sub>3</sub>[kΩ]</b>	<b>rel. změna R</b>
Vzorek	před tahem	po tahu	po regeneraci	$\delta R = (R_1 - R_3)/R_1$
klávesa	3/0,75 B	3/0,75 B	3/0,75 B	3/0,75 B
1	10,8	0	7,2	33 %
2	12,2	0	4,5	63 %
3	12,3	0	12,1	2 %
4	7,6	0	5,3	30 %
5	6,2	0	8,8	42 %
6	14,7	0	8,2	44 %
7	13,2	0	20,2	53 %
8	6,9	0	9,3	35 %
9	12,9	0	18,5	43 %
↑(10)	5,9	0	4,3	27 %
↓(11)	5,5	1	4,5	18 %
←(12)	6,1	1	6	2 %
→(13)	6,1	1	5	18 %
(14)	5,2	0	9,6	85 %
○(15)	11,7	0	8,4	28 %
0(16)	10,6	0	11,2	6 %

\* hodnota **1** .... odpor naměřen

hodnota **0** .... odpor nenaměřen, cesta přerušená (poškozená)



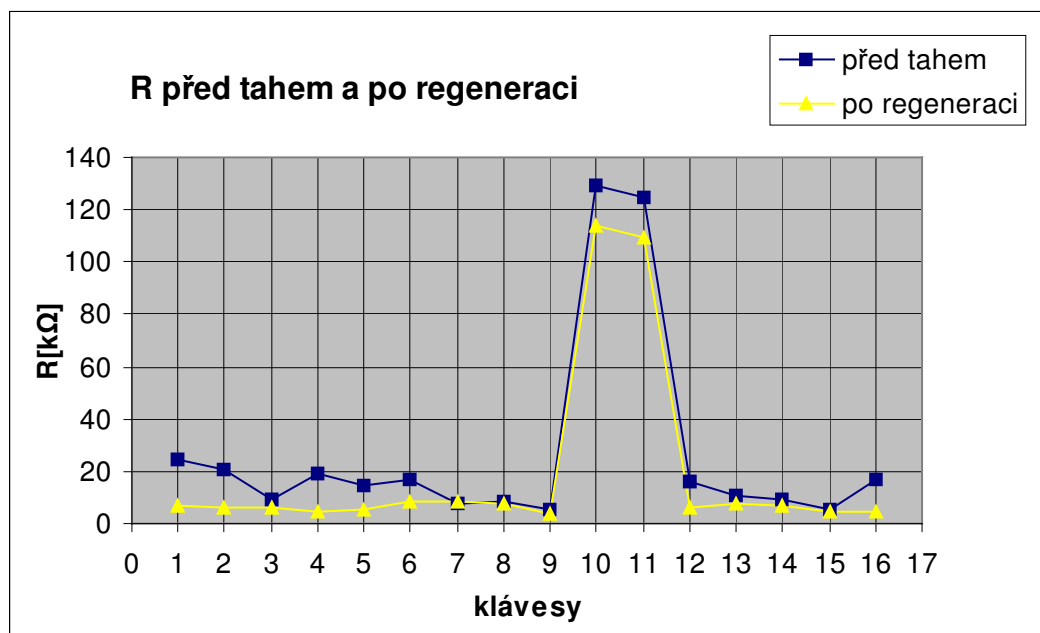
Obr. 34: Graf odporu na klávesách před tahem a po regeneraci – vzorek 3/0,75 B

Tab. 14: vzorek 4/0,75 C z hlediska tahu

	<b>R1[kΩ]</b>	<b>R2 *</b>	<b>R3[kΩ]</b>	rel. změna R
Vzorek	před tahem	po tahu	po regeneraci	$\delta R = (R1-R3)/R1$
klávesa	4/0,75 C	4/0,75 C	4/0,75 C	4/0,75 C
1	24,5	0	7,2	71 %
2	20,6	0	6,3	69 %
3	8,8	0	5,8	34 %
4	19,5	0	4,8	75 %
5	14,3	0	5,2	64 %
6	16,5	0	8,7	47 %
7	7,6	0	8,2	8 %
8	8,2	0	7,4	10 %
9	5,6	0	4,2	25 %
↑(10)	129	1	113,8	12 %
↓(11)	125	1	109,4	12 %
←(12)	16,2	0	5,8	64 %
→(13)	10,6	0	7,8	26 %
(14)	8,8	0	7,2	18 %
○(15)	5,3	0	4,8	9 %
0(16)	17,2	0	4,6	73 %

\* hodnota **1** .... odpor naměřen

hodnota **0** .... odpor nenaměřen, cesta přerušená (poškozená)



Obr. 35: Graf odporu na klávesách před tahem a po regeneraci – vzorek 4/0,75 C

Dané vzorky byly vystaveny tahové zkoušce (Příloha 5) na stroji Automatic Tensile & Shear Tester-KES-FB1 (Příloha 4). Této zkoušce byly vystaveny vzorky reprezentující všechny varianty: pravoúhlou, rádiusovou, třívrstvou a čtyřvrstvou.

Při namáhání byla poškozena vrstva vodivé pasty do té míry, že došlo ke ztrátě elektrických vlastností tištěného vzoru. Na většině čísel byl naměřen nekonečný odpor.

Vzhledem k tomu, že součástí vodivé pasty jsou polymery, u kterých vlivem vysoké teploty dochází k tavení, byly tyto „nevodivé“ vzorky po dobu pěti minut vystaveny teplotě 110 °C (v sušící komoře MEMMERT, Příloha 3). Poté byl opětovně měřen elektrický odpor a bylo zjištěno, že došlo k obnovení elektrických vlastností téměř na původní úroveň.

#### ➤ Elektrický odpor kláves z hlediska mechanického namáhání – OHYBU

Vzorky byly vystaveny nejprve jednomu ohybu a následně byl změřen elektrický odpor kláves. Poté byly vzorky vystaveny ohybu cyklickému, a to pěti- a desetinásobnému. Následně byl na klávesách opět změřen elektrický odpor.

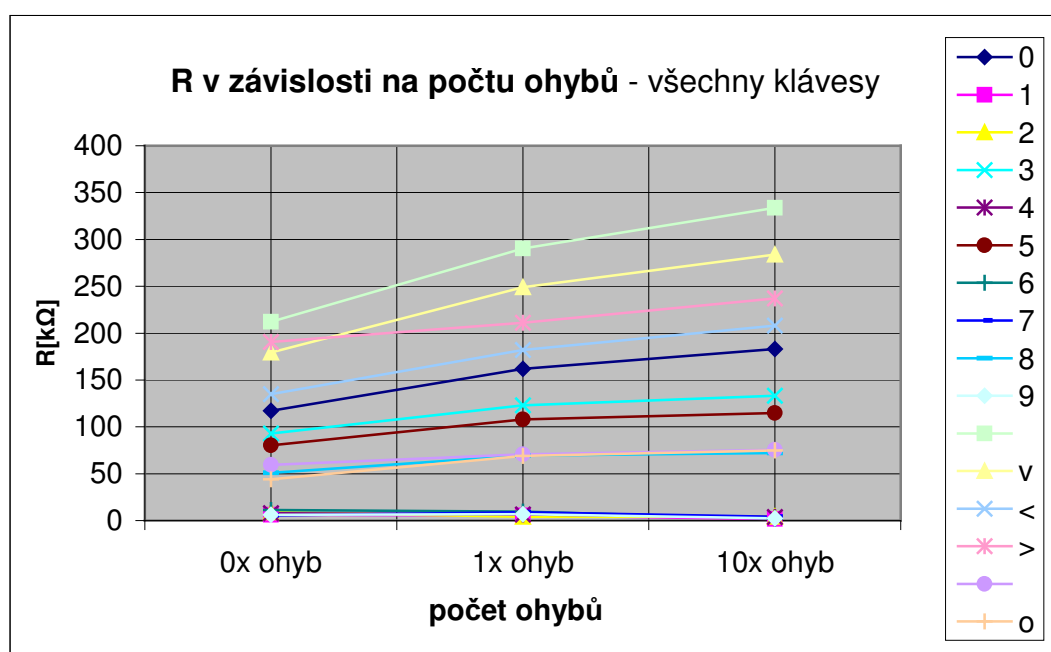
Vzhledem k tomu, že některé klávesy v důsledku defektu vodivé cesty vykazují výrazně odlišné hodnoty, byly tyto hodnoty zpracovány zvlášť. Při hodnocení „funkčních“ kláves, tedy kláves bez defektu, bylo zjištěno, že po cyklickém, desetinásobném namáhání došlo ke snížení elektrického odporu kláves. Tato skutečnost může být způsobena strukturou vodivé pasty: rozptýlené částice stříbra v polymeru mění ohybem své mechanické a deformační vlastnosti, čímž dojde ke změně struktury celého kompozitu.

Na rozdíl od funkčních kláves defektní klávesy vykazují vzrůst elektrického odporu po cyklickém namáhání.

Z tohoto testu tedy vyplývá, že opakované ohýbání textilie potištěné třemi a čtyřmi vrstvami elektricky vodivé pasty nemá významný vliv na elektrické vlastnosti natištěného vzoru, a jeho vlivem tedy nedochází ke ztrátě schopnosti takovéto textilie vést elektrický proud. Tyto výsledky potvrzují výrobcem deklarovanou mechanickou odolnost (Příloha 2).

Tab. 15: vzorek 4/1 B z hlediska ohybu

Vzorek klávesa	R[kΩ] 4/1 B 0x ohyb	R[kΩ] 4/1 B 1x ohyb	R[kΩ] 4/1 B 10x ohyb
0	117	162	183,2
1	6,2	5,3	1,7
2	8,9	4,2	4,2
3	92,8	123	133,3
4	7,8	6,6	3,6
5	80,3	108	114,9
6	11,2	9,7	2,2
7	5,4	8,9	4,2
8	51	69,2	72,2
9	6,2	6,8	2,4
↑	212,1	290,5	333,8
↓	179,5	249	283,7
←	134,8	182	208
→	190,7	211	237
	59,6	70,7	75,6
○	44	69,1	74,8



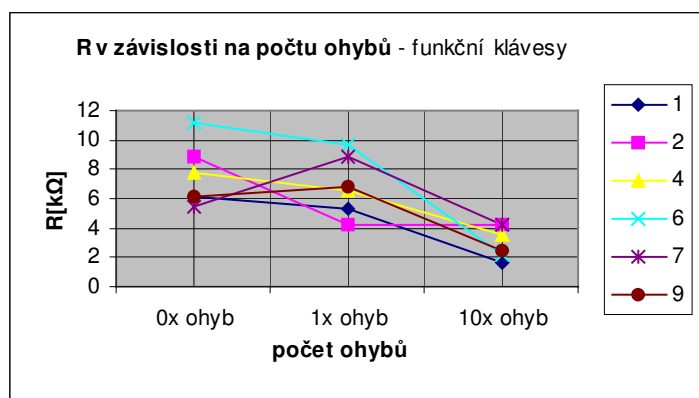
Obr. 36: Graf závislosti R na počtu ohybů – vzorek 4/1 B

Tab. 16: funkční vzorky

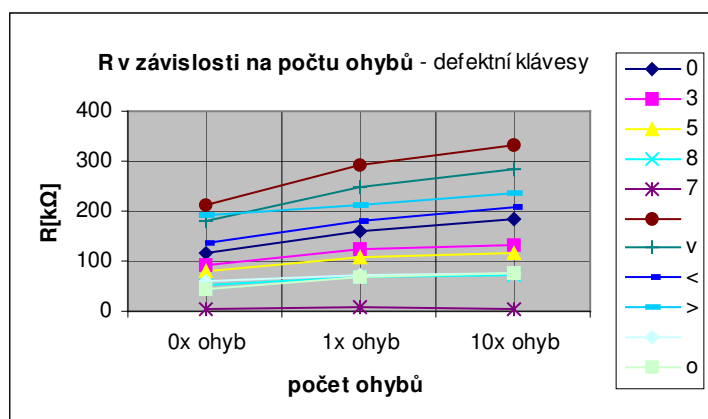
Vzorek		$R[k\Omega]$ 4/1 B	
klávesa	0x ohyb	1x ohyb	10x ohyb
1	6,2	5,3	1,7
2	8,9	4,2	4,2
4	7,8	6,6	3,6
6	11,2	9,7	2,2
7	5,4	8,9	4,2
9	6,2	6,8	2,4

Tab. 17: defektní vzorky

Vzorek		$R[k\Omega]$ 4/1 B	
klávesa	0x ohyb	1x ohyb	10x ohyb
0	117	162	183,2
3	92,8	123	133,3
5	80,3	108	114,9
8	51	69,2	72,2
7	5,4	8,9	4,2
↑	212,1	290,5	333,8
↓	179,5	249	283,7
←	134,8	182	208
→	190,7	211	237
	59,6	70,7	75,6
○	44	69,1	74,8



Obr. 37: Graf závislosti R na počtu ohybů – vzorek 4/1 B – funkční klávesy

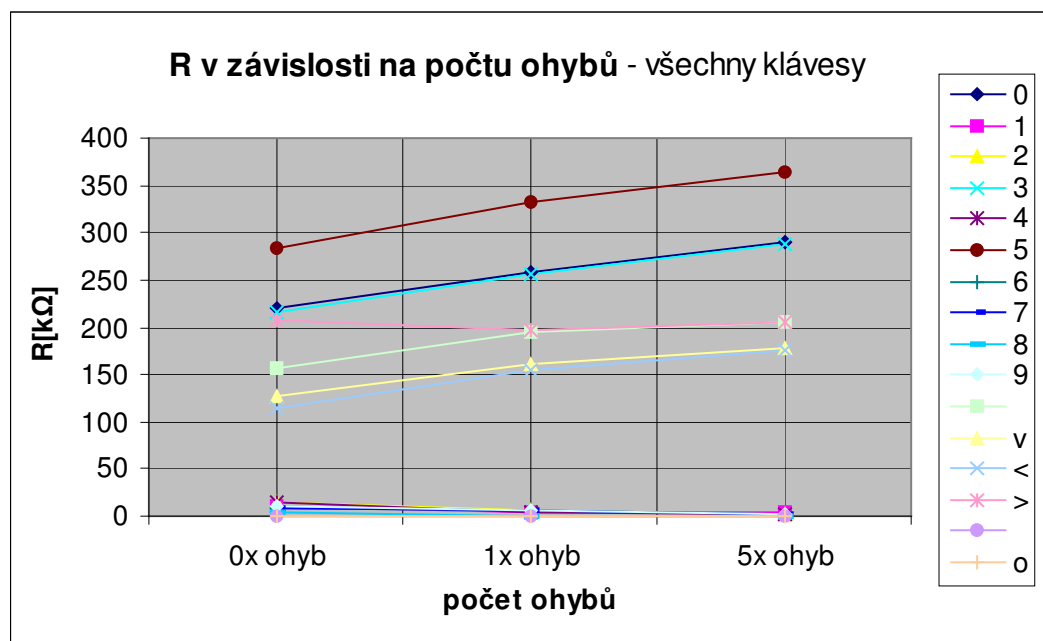


Obr. 38: Graf závislosti R na počtu ohybů – vzorek 4/1 B – defektní klávesy



Tab. 18: vzorek 3/1 C z hlediska ohybu

Vzorek	R[kΩ] 3/1 C	R[kΩ] 3/1 C	R[kΩ] 3/1 C
klávesa	0x ohyb	1x ohyb	5x ohyb
0	220,3	258	290
1	10	4,6	3,5
2	14,8	5,4	1,7
3	215,4	256	287
4	14,3	3,6	2,5
5	283,4	333	365
6	8	7,2	1,7
7	7,8	5,5	1,6
8	4,7	0,5	0,6
9	11,2	5,3	1,3
↑	156,7	194	206
↓	126,6	161	178
←	113,4	154	176
→	206,8	196,5	206
	0,4	0,6	0,6
○	0,5	0,6	0,7



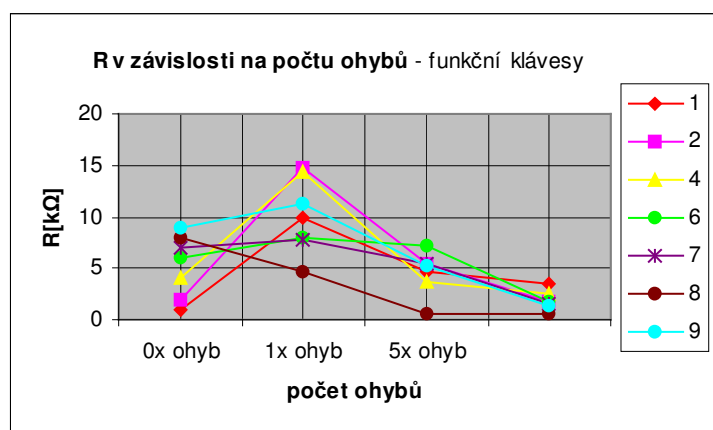
Obr. 39: Graf závislosti R na počtu ohybů – vzorek 3/1 C

Tab. 19: funkční vzorky

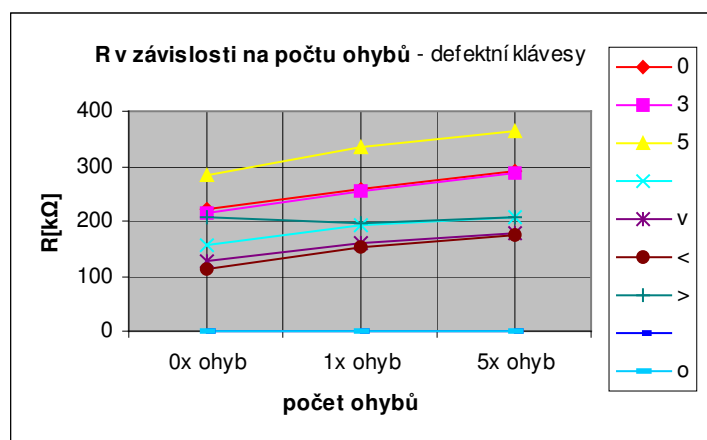
Vzorek		R[k $\Omega$ ] 3/1 C	
klávesa	0x ohyb	1x ohyb	5x ohyb
1	10	4,6	3,5
2	14,8	5,4	1,7
4	14,3	3,6	2,5
6	8	7,2	1,7
7	7,8	5,5	1,6
8	4,7	0,5	0,6
9	11,2	5,3	1,3

Tab. 20: defektní vzorky

Vzorek		R[k $\Omega$ ] 3/1 C	
klávesa	0x ohyb	1x ohyb	5x ohyb
0	220,3	258	290
3	215,4	256	287
5	283,4	333	365
↑	156,7	194	206
↓	126,6	161	178
←	113,4	154	176
→	206,8	196,5	206
	0,4	0,6	0,6
○	0,5	0,6	0,7



Obr. 40: Graf závislosti R na počtu ohybů – vzorek 3/1 C – defektní klávesy



Obr. 41: Graf závislosti R na počtu ohybů – vzorek 3/1 C – defektní klávesy

Tab. 21: Závislost odporu na počtu ohybů a relativní změna R – vzorek 3/0,75 A

Vzorek	3/0,75 A	3/0,75 A	rel. změna R
klávesa	R1[kΩ] 0x ohyb	R2[kΩ] 1x ohyb	$\delta R = (R1-R2) / R1$
0	26	3,9	85 %
1	12,2	3,2	74 %
2	15,9	6,5	59 %
3	19,5	4,8	75 %
4	8,2	7,9	4 %
5	15,1	3	80 %
6	22,2	4,8	78 %
7	9,2	3,3	64 %
8	11	4,6	58 %
9	17,3	4	77 %
↑	107	172	61 %
↓	223	350	57 %
←	32	5,3	83 %
→	25,8	3,5	86 %
	29	5	83 %
○	112	3,6	97 %

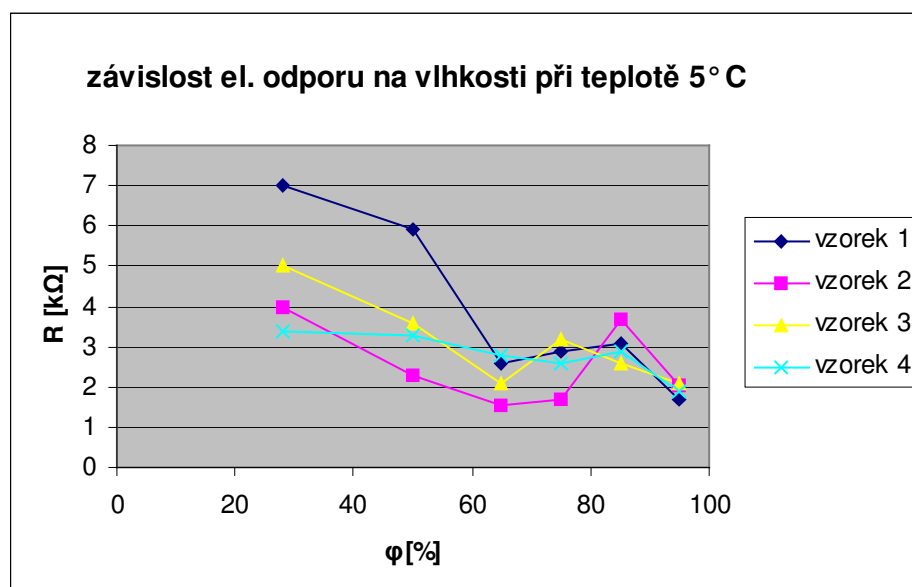
Tab. 22: Závislost odporu na počtu ohybů a relativní změna R – vzorek 4/0,75 D

Vzorek	4/0,75 D	4/0,75 D	rel. změna R
klávesa	R1[kΩ] 0x ohyb	R2[kΩ] 1x ohyb	$\delta R = (R1-R2) / R1$
0	6,6	2,9	56 %
1	8,2	3,7	55 %
2	6,3	4,8	24 %
3	5,2	4,9	6 %
4	6,8	8,1	19 %
5	6,2	5,9	5 %
6	11,2	6,1	46 %
7	12,4	9,9	20 %
8	5,8	5,5	5 %
9	9,3	6,1	34 %
↑	6,9	4,3	38 %
↓	17,4	5,2	70 %
←	0,4	0,5	25 %
→	0,5	0,7	40 %
	9,2	5,5	40 %
○	3,6	1	72 %

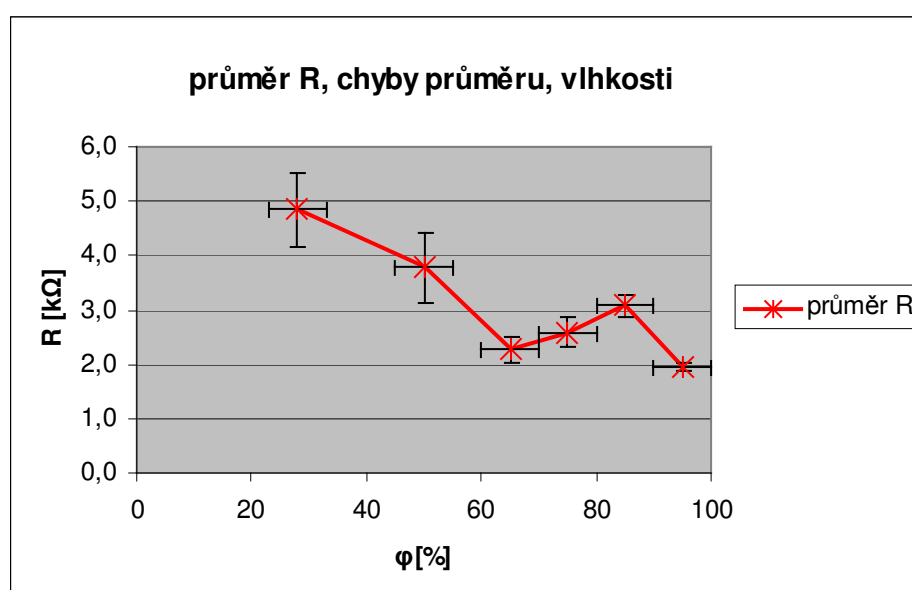
➤ **Ověření funkčnosti a stability vzorku**

Tab. 23: Ověření stability elektrických vlastností při teplotě **5 °C** a rozdílné vlhkosti

R[kΩ] / φ[%]	28	50	65	75	85	95
vzorek 1	7	5,9	2,6	2,9	3,1	1,7
vzorek 2	4	2,3	1,56	1,67	3,7	2,06
vzorek 3	5	3,6	2,1	3,2	2,6	2,09
vzorek 4	3,4	3,3	2,8	2,6	2,9	1,9
průměr R	4,9	3,8	2,3	2,6	3,1	1,9
chyba pr.	0,7	0,7	0,2	0,3	0,2	0,1
ch. vlh.[%]	5	5	5	5	5	5



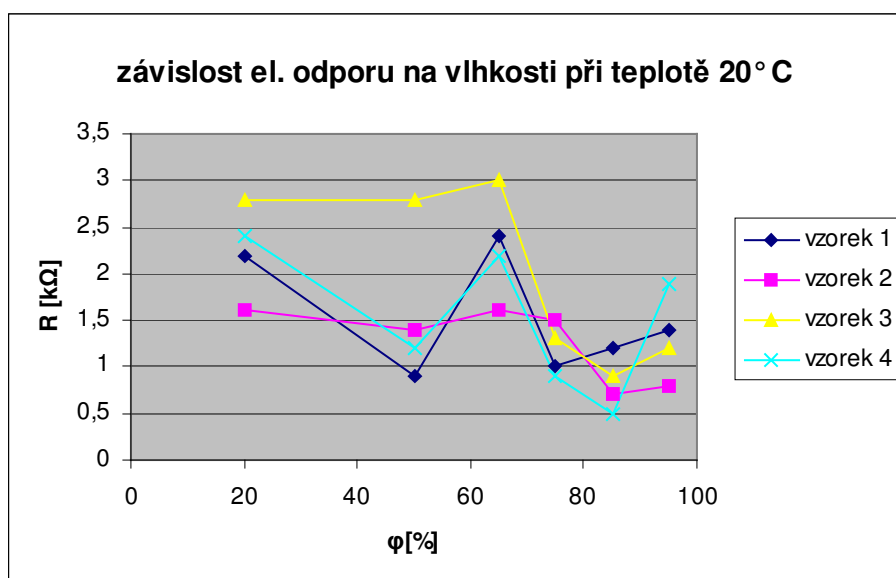
Obr. 42: Graf závislosti elektrického odporu na vlhkosti při teplotě 5 °C



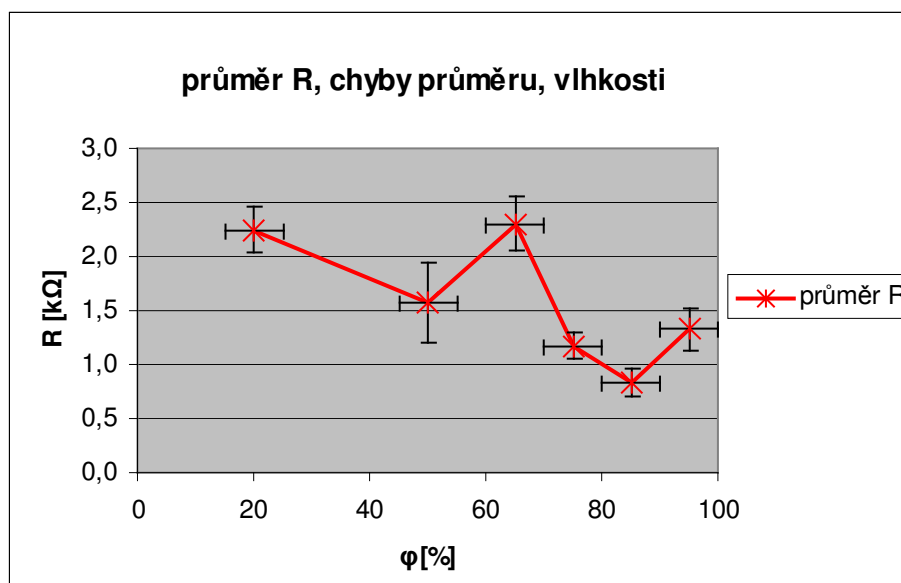
Obr. 43: Graf průměru, chyb průměru a chyb vlhkosti komory

Tab. 24: Ověření stability elektrických vlastností při teplotě **20 °C** a rozdílné vlhkosti

R[kΩ] / φ[%]	20	50	65	75	85	95
vzorek 1	2,2	0,9	2,4	1	1,2	1,4
vzorek 2	1,6	1,4	1,6	1,5	0,7	0,8
vzorek 3	2,8	2,8	3	1,3	0,9	1,2
vzorek 4	2,4	1,2	2,2	0,9	0,5	1,9
průměr R	2,3	1,6	2,3	1,2	0,8	1,3
chyba pr.	0,2	0,4	0,3	0,1	0,1	0,2
ch. vlh.[%]	5	5	5	5	5	5



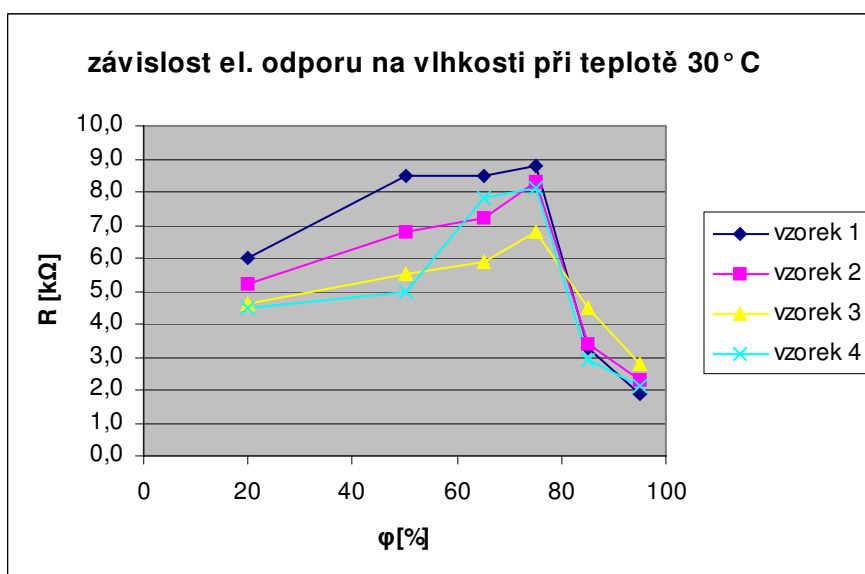
Obr. 44: Graf závislosti elektrického odporu na vlhkosti při teplotě 20 °C



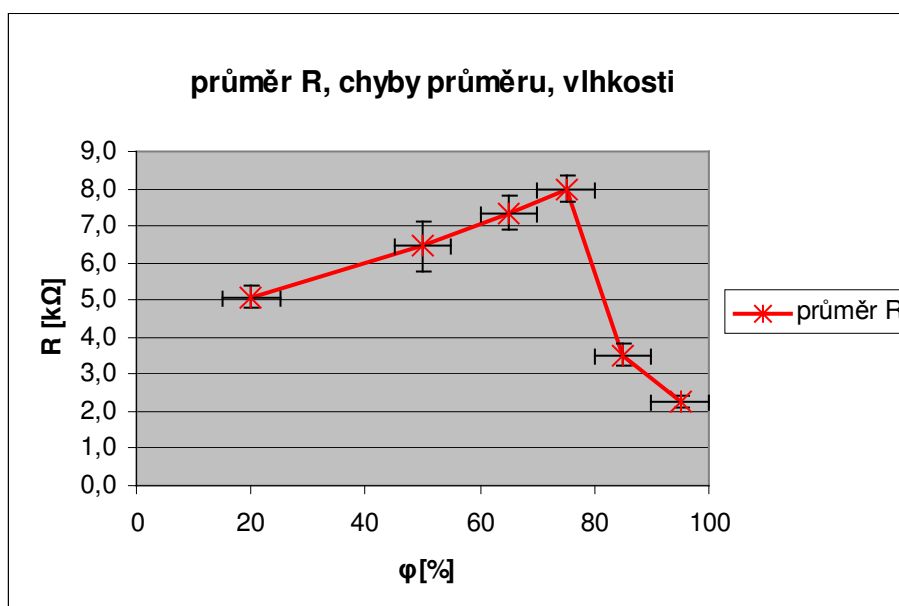
Obr. 45: Graf průměru, chyb průměru a chyb vlhkosti komory

Tab. 25: Ověření stability elektrických vlastností při teplotě 30 °C a rozdílné vlhkosti

R[kΩ] / φ[%]	20	50	65	75	85	95
vzorek 1	6,0	8,5	8,5	8,8	3,3	1,9
vzorek 2	5,2	6,8	7,2	8,3	3,4	2,3
vzorek 3	4,6	5,5	5,9	6,8	4,5	2,8
vzorek 4	4,5	5	7,8	8,1	2,9	2,1
průměr R	5,1	6,5	7,4	8,0	3,5	2,3
chyba pr.	0,3	0,7	0,5	0,4	0,3	0,2
ch. vlh.[%]	5	5	5	5	5	5



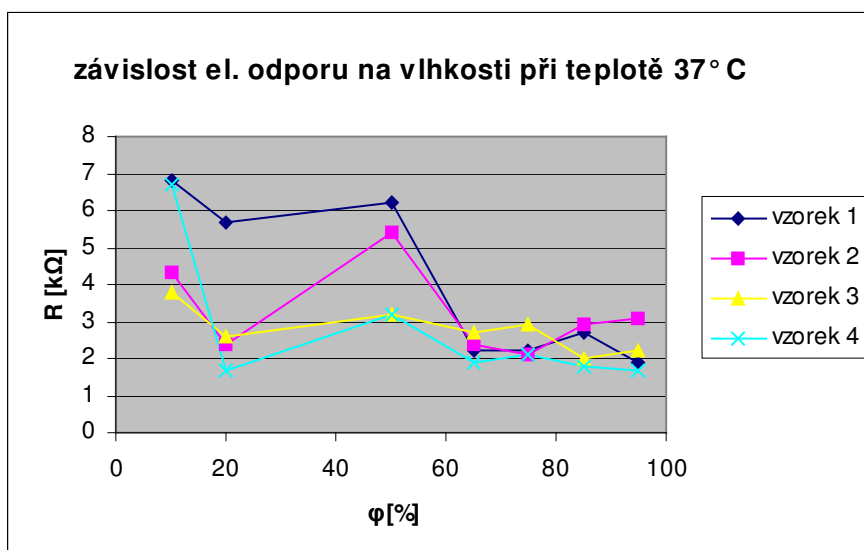
Obr. 46: Graf závislosti elektrického odporu na vlhkosti při teplotě 30 °C



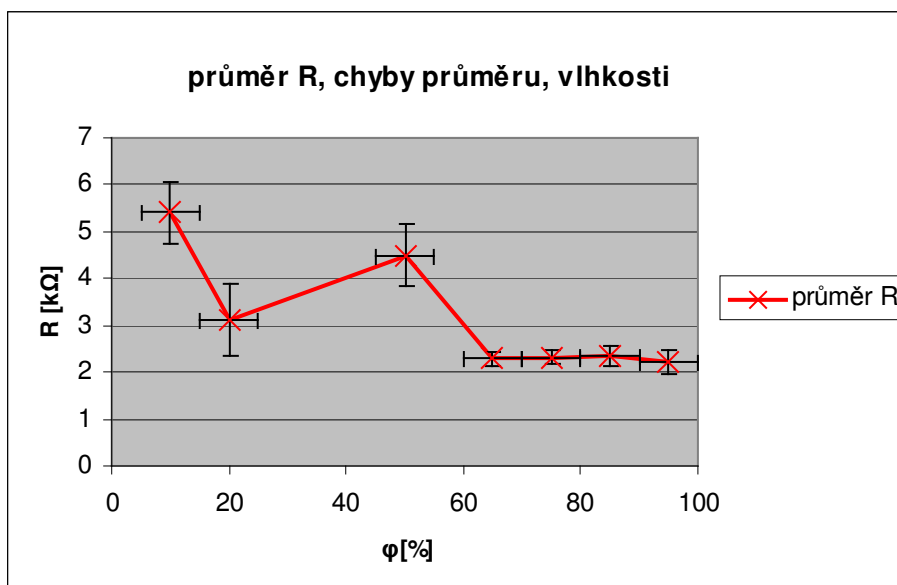
Obr. 47: Graf průměru, chyby průměru a chyb vlhkosti komory

Tab. 26: Ověření stability elektrických vlastností při teplotě 37 °C a rozdílné vlhkosti

R[kΩ] / φ[%]	20	50	65	75	85	95
vzorek 1	5,7	6,2	2,2	2,2	2,7	1,9
vzorek 2	2,4	5,4	2,4	2,1	2,9	3,1
vzorek 3	2,6	3,2	2,7	2,9	2	2,2
vzorek 4	1,7	3,2	1,9	2,1	1,8	1,7
průměr R	3,1	4,5	2,3	2,3	2,4	2,2
chyba pr.	0,8	0,7	0,1	0,2	0,2	0,3
ch. vlh.[%]	5	5	5	5	5	5



Obr. 48: Graf závislosti elektrického odporu na vlhkosti při teplotě 37 °C



Obr. 49: Graf průměru, chyb průměru a chyb vlhkosti komory

Při ověřování funkčnosti a stability vlastností klávesnice byly vzorky vystaveny působení rozdílných teplot a rozdílných vlhkostí prostředí. Byly zvoleny tyto hodnoty teploty:

5 °C – z důvodů nejnižší možné nastavitelné teploty v klimatizační komoře, kterou lze kombinovat s vlhkostí

20 °C – klimatická teplota

30 °C – teplota dosahovaná v našem klimatickém pásmu v letních měsících

37 °C – teplota lidského těla.

Dále byly zvoleny tyto hodnoty vlhkosti prostředí v klimatické komoře:

20 %, 50 %, 65 %, 75 %, 85 %, 95 %. U teploty 5 °C není v klimatické komoře možné dosáhnout nižší vlhkosti než 28 %, proto je tato teplota zvolena místo původních 20 °C.

Byla pozorována tendence zvyšující se vodivosti klávesy se vzrůstem vlhkosti. Při určité teplotě však u všech vzorků dochází k vzestupu elektrického odporu, který následně opět klesá. Tento stav je možné vysvětlit neustálenými podmínkami v klimatické komoře a nestejnoměrným nárůstem či poklesem teploty a vlhkosti v klimatické komoře.

Elektrický odpor jednotlivých kláves byly snímán pomocí univerzální měřicí ústředny ALMEMO 2290-8 (Příloha 9) a ověřovány multimetrem HHM 290 (Příloha 10), jehož přesnost je  $\pm 0,03$  % z měř. hodnoty  $\pm 2$  digity.

Jelikož byl vzorek uzavřen v klimatizační komoře, nebylo z důvodů zachování nastavených podmínek možné provádět kontakt (stisk) klávesnice prstem. Pro simulaci stisku prstem byl použit měděný plíšek se stranou o rozměru 10 mm a měrným odporem  $0,0178 \text{ p}/\mu\Omega\text{m}$  při 0 °C.

Před každým měřením byla ověřena funkčnost klávesy bez stisku. Za klimatických podmínek byly naměřeny na všech vzorcích hodnoty nekonečného odporu, což potvrzovalo správnou funkci. Při vzrůstající vlhkosti byly na vzorcích zaznamenávány změny elektrického odporu neseprtých kláves. Naměřené hodnoty se pohybovaly řádově v  $\text{M}\Omega$  a byly způsobené skutečností, že textilie pojala do své struktury takové množství vlhkosti, že se sama stala vodivou. Tato situace nastala u všech vzorků takto: při teplotě 5 °C, 30 °C a 37 °C při 85% vlhkosti a při teplotě 20 °C při 95% vlhkosti.

Vzorek 1 = 3/0,75 D, vzorek 2 = 3/1 B, vzorek 3 = 4/0,75 A, vzorek 4 = 4/1 C.



## 7. ZÁVĚR

Možnosti využití elektronických inteligentních textilií jsou velmi široké. Textilie a oděvy obecně nabízejí velké množství kombinací základních materiálů, struktur a úprav, takže mají možnost stát se silným nástrojem pro monitorování obecných i specifických částí lidského těla s vysokou úrovní spolehlivosti a současně s vysokým komfortem pro nositele.

Integrace elektronických komponent do textilních struktur pro oděvní i neoděvní využití umožňuje vytvářet takové systémy, které zajišťují vysoký komfort nebo usnadňují komunikaci. Jako průmyslové textilie mohou sledovat teplotu, tlak, vibrace a pohyb, sloužit jako pohybový či požární detektor a být součástí navigačního systému ve veřejných budovách. Ve stavebnictví mohou být využity jako prostředky detekce vad stavebního materiálu či konstrukce v počátečním stádiu.

V oděvních aplikacích mohou např. monitorovat teplotu, vlhkost, záření nebo vibrace. Textilie mohou také obsahovat i senzory a svítivé diody. Inteligentní elektronické oděvy mají možnost zlepšit současnou zdravotní péči monitorováním dechu, srdečního rytmu, úrovně stresu či tělesné teploty. Vysoce výkonné elektronické sportovní oblečení může sledovat a zároveň zlepšovat výkon při tréninku nebo extrémních sportovních aktivitách. Stejně zajímavé je i uplatnění ve vojenských aplikacích, které podstatnou měrou zvyšuje bezpečnost vojáků bez zatěžujícího klasického elektronického zařízení.

Aby byly elektronické oděvy úspěšné, musí také splňovat požadavky na jednoduchou údržbu a udržovat si svoji vodivost i po opakovaných cyklech praní a další údržby. Nesmí být poškozovány stálým pohybem a namáháním při pohybu těla, statickou elektřinou z textilie, potem ani tělesnou teplotou.

Textilie s integrovaným elektrickým obvodem jsou předmětem zájmu mnoha výzkumů i výrobců. Rychle se měnící technologie přinášejí vylepšení v mnoha klíčových záležitostech. Jsou vyvíjena taková zařízení, jako integrovaný přehrávač CD, MP3 přehrávač, panel pro elektronické hry, digitální kamera a videozařízení a interaktivní klubové oblečení, které mění barvy v závislosti na rytmu hudby. Textilní klávesnice na rukávech může být použita pro vytáčení telefonních čísel, jako druh pagerů pro vzkazy nebo jako přehrávače hudby. Kromě uplatnění v citlivých zdravotních textiliích, aktivním sportovním oblečení či vojenských oděvech se elektronické oděvy mohou uplatnit i v dopravě či kosmonautice.

V této práci byla zkoumána funkčnost, stabilita vlastností a mechanická odolnost klávesnice, vytvořené metodou sítotisku na dvou druzích nosné textilie. Jednalo se o vytvoření funkčního vzorku technologie tvorby vodivých cest natištěním vodivé pasty na nosnou textilií. Pro vytvoření klávesnice byla zvolena metoda spínače, kdy stiskem jednotlivých kláves dochází ke spojení vodivých cest. Byla zvolena dvojí šíře vodivých cest a mezer mezi nimi – 0,75 mm a 1 mm. Klávesnice byla natištěna stříbrnou vodivou pastou na dva druhy nosné textilie a zafixována. Na takto vytvořených klávesnicích byl měřen elektrický odpor a jeho hodnoty byly porovnány a zpracovány. Byly registrovány vybočující hodnoty, které byly patrně způsobené nedodržením šíře mezer mezi vodivými cestami, mechanickými nečistotami na povrchu textilie a nevhodně zvolenými parametry tisku.

Vzorky byly vystaveny mechanickému namáhání, konkrétně tahu a ohybu. Bylo zjištěno, že tahem se vrstva vodivé pasty poškodí natolik, že dojde ke ztrátě elektrických vlastností natištěného vzoru. Po následném vystavení teplotě 110 °C po dobu 5 minut dojde k regeneraci a hodnoty elektrických veličin se vrací téměř na úroveň původních.

Při testování změn elektrických vlastností klávesnice vlivem ohybu bylo zjištěno, že přestože dochází ke změně naměřených hodnot elektrického odporu, vodivost klávesnice není tímto druhem namáhání významně snižována. U kláves, které nebyly poškozené, došlo naopak vlivem ohybu ke snížení elektrického odporu. Dá se předpokládat, že je tato skutečnost způsobena strukturou vodivé pasty. Rozptýlené částice stříbra v polymeru mění ohybem své mechanické a deformační vlastnosti, čímž dojde ke změně struktury celého kompozitu.

Stabilita vlastností byla ověřována vystavením vzorků různým teplotám a vlhkostem a byly zkoumány změny elektrického odporu v závislosti na těchto podmínkách. Byl potvrzen předpoklad, že se vzrůstající vlhkostí vzrůstá elektrická vodivost. Změny teploty neměly na vodivost podstatný vliv, což ověřilo výrobcem deklarovanou stabilitu vlastností ve velkém teplotním rozsahu.

Tato práce si klade za cíl průzkum v oblasti vývoje elektronických textilií a vytvoření vzorku jako pokusu o realizaci dané technologie. Je svým způsobem prvotní, a proto otevírá široké pole pro práce následné. V nich by měla být přezkoumána vhodná šíře vodivých cest a mezer, s důrazem na dodržení předepsané hodnoty ve všech částech kláves. Jednou z cest dalšího vývoje může být výzkum optimálních podmínek a

parametrů tisku, např. takového poměru vodivé pasty a ředidla, které by vykazovalo na zvoleném textilním podkladu nejlepší výsledky, či velikost přitlaku a rychlosti stěrky. Zajímavé by bylo také zjištění, kolikanásobné opakované obnovení elektrických vlastností je možné při poškození vzoru tahem a následné regeneraci a o kolik se sníží schopnost vodivého vzoru vést elektrický proud. V neposlední řadě by měly být prozkoumány izolační vlastnosti vytvořeného vzorku či možnost vytvoření klávesnice jinými metodami.

## LITERATURA

- [1] Lizák, P., Militký, J.: *Technické textilie*, Nadácia pre rozvoj textilného vysokoškolského vzdelávania, Ružomberok, 2002
- [2] [www.research.ibm.com/journal/sj/393/part3/post.html](http://www.research.ibm.com/journal/sj/393/part3/post.html)
- [3] [www.ft.vslib.cz/depart/ktm/files/20060126/6.chromismus%201.pdf](http://www.ft.vslib.cz/depart/ktm/files/20060126/6.chromismus%201.pdf)
- [4] [www.peratech.co.uk/textech.htm](http://www.peratech.co.uk/textech.htm)
- [5] [www.softswitch.co.uk/](http://www.softswitch.co.uk/)
- [6] [www.media.mit.edu/hyperins/levis/](http://www.media.mit.edu/hyperins/levis/)
- [7] [www.ft.vslib.cz/depart/ktm/files/inteligentni\\_textilie.pdf](http://www.ft.vslib.cz/depart/ktm/files/inteligentni_textilie.pdf)
- [8] [www.infineon.com](http://www.infineon.com)
- [9] [www.vlci doupe.net/texts.php?textid=30](http://www.vlci doupe.net/texts.php?textid=30)
- [10] [www.automatizace.cz/article.php?a=678](http://www.automatizace.cz/article.php?a=678)
- [11] [www.scottevest.com/](http://www.scottevest.com/)
- [12] <http://about.eyetap.org/>
- [13] [www.wearcam.org/historical/node3.html](http://www.wearcam.org/historical/node3.html)
- [14] [www.tx.ncsu.edu/jtatm/volume2issue2/articles/meoli/meoli\\_full.pdf](http://www.tx.ncsu.edu/jtatm/volume2issue2/articles/meoli/meoli_full.pdf)
- [15] [www.gtwm.gatech.edu/gtwm.html](http://www.gtwm.gatech.edu/gtwm.html)
- [16] [www.sensatex.com/main.html](http://www.sensatex.com/main.html)
- [17] [www.national-geographic.cz](http://www.national-geographic.cz)
- [18] [www.canesis.com](http://www.canesis.com)
- [19] [www.eleksen.com/?page=products/index.asp](http://www.eleksen.com/?page=products/index.asp)
- [20] Post, E. R., Orth, M., Russo, P. R., Gershenfeld, N.: *Design and fabrication of textile-based computing*, MIT Massachusetts, 2000
- [21] [www.tx.ncsu.edu/jtatm/volume3issue4/Articles/Langenhove/langenhove\\_full\\_76\\_03.pdf](http://www.tx.ncsu.edu/jtatm/volume3issue4/Articles/Langenhove/langenhove_full_76_03.pdf)
- [22] [www.elektrorevue.cz/clanky/02030/](http://www.elektrorevue.cz/clanky/02030/)
- [23] [www.automatizace.cz/article.php?a=678](http://www.automatizace.cz/article.php?a=678)
- [24] [www.media.mit.edu/physics/publications/theses/99.02.post.pdf](http://www.media.mit.edu/physics/publications/theses/99.02.post.pdf)
- [25] Pourdeyhimi, B., Grant, E., Nagle, H.: *Printing electric circuits onto nonwoven conformal fabric*, NTC, 2005
- [26] [http://fyziologie.lf2.cuni.cz/hampl/teach\\_mat/extremy/index.htm](http://fyziologie.lf2.cuni.cz/hampl/teach_mat/extremy/index.htm)
- [27] <http://stoplusjedna.newtonit.cz/stare/200523/so23a18a.asp>
- [28] Fajt, V.: *Elektrická měření*, SNTL Praha, 1987
- [29] [http://www.findarticles.com/p/articles/mi\\_qa4025/is\\_200410/ai\\_n9464252#continue](http://www.findarticles.com/p/articles/mi_qa4025/is_200410/ai_n9464252#continue)

- [30] [www.ravistailor.com/customtailor/Tomorrowacutes\\_Ewardrobe...custom\\_Clothing\\_Online.htm](http://www.ravistailor.com/customtailor/Tomorrowacutes_Ewardrobe...custom_Clothing_Online.htm)
- [31] Merritt, C. R., Karaguzel, B., Pourdeyhim, B., Grant, E.: *Electrical characterization of printed coplanar waveguide transmission lines on specific nonwovwn textile substrates*, NTC, 2003


**CREATIVEMATERIALS**

Creative Materials, Inc.  
141 Middlesex Road  
Tyngsboro, MA 01879

[www.creativematerials.com](http://www.creativematerials.com)

ISO 9001 CERTIFIED

T 978.649.4700  
F 978.649.2040

## GPC 251

### ELECTRICALLY CONDUCTIVE EPOXY ADHESIVE

**DESCRIPTION:** GPC 251 is a two part, room temperature curing, silver filled epoxy adhesive. System is designed to be used for making electrical and mechanical attachments on electrical components and devices. Unlike typical room temperature curing systems, this product always results in excellent conductivity and is less sensitive to handling and ambient conditions.

	<u>Part A</u>	<u>Part B</u>
Appearance:	Silver	Light Yellow
Consistency:	Paste	Liquid
Mix Ratio (by weight):	100 (17)	5.9 (1)
Pot Life:	-----	60 minutes

**MIXING INSTRUCTIONS:** Premix Part A in original container prior to adding curing agent. Add Part B to Part A and mix until uniform.

**CURING INSTRUCTIONS:** Best results are obtained when product is cured at one of the following schedules:

24 hours @ 25°C, or  
60 mins @ 65°C, or  
30 mins @ 95°C, or  
5 mins @ 120°C

#### TYPICAL CURED PROPERTIES:

Volume Resistivity, max. (25°C)	0.005 Ω-cm
Volume Resistivity, max. (120°C)	0.0002 Ω-cm
Tensile Shear (psi)	>1800
Water Absorption (%)	< 0.06
Tensile Strength (psi)	11,200
Solvent Resistance	Excellent
Solderable	No
Specific Gravity	2.7
Thermal Conductivity (BTU/ft <sup>2</sup> hr°F/ft)	3.9

**STORAGE:** Shelf life Parts A and B: 12 months in unopened, unmixed containers.

*All technical information is based on data obtained by CMI personnel and is believed to be reliable. No warranty is either expressed or implied with respect to results or possible infringements on patents.*

REVISION DATE: 10/3/95 REVISION: A



**CREATIVEMATERIALS**

Creative Materials, Inc.  
141 Middlesex Road  
Tyngsboro, MA 01879

www.creativematerials.com

ISO 9001 CERTIFIED

T 978.649.4700  
F 978.649.2040

## 112-15

### EXTREMELY CONDUCTIVE INK

**DESCRIPTION:** 112-15 is an ink/coating with extremely high electrical conductivity for application by screen-printing, dipping and syringe dispensing. The product features excellent adhesion to Kapton, Mylar, glass and a variety of other substrates. The superior conductivity of this product allows the end user to print narrower and/or longer circuit trace lines without compromising overall maximum ohm values. The proper use of this feature can result in a significant cost saving. Unlike conventional conductive materials, this product is very resistant to abrasion, scratching, flexing and creasing. Some applications for 112-15 include, but are not limited to, emi/rfi shielding of polyimide flexible circuits, polymer thick film circuitry, membrane switches and coatings for tantalum capacitors.

#### TYPICAL PROPERTIES:

Viscosity (cps)	28,000 – 30,000
Filler	Silver
Percent Silver (cured)	> 84
Crease Resistance	Excellent
Volume Resistance, max. ( $\Omega$ -cm)	0.00003
Sheet Resistivity ( $\Omega$ /square/mil)	0.010
Hydrolytic Stability	Excellent
Useful Temperature Range ( $^{\circ}$ C)	-55 to 200

**SUGGESTED HANDLING & CURING:** 112-15 is ready to use as supplied. Further thinning may be accomplished by adding small amounts of CMI thinner #112-18, #112-19 and/or #105-36. Prior to use, be certain to mix well to resuspend silver. Best properties for most applications, result when cured for 3 to 5 minutes at 110 $^{\circ}$ C. Excellent properties are also obtained on a variety of substrates by curing at temperatures ranging from 50 $^{\circ}$ C to 175 $^{\circ}$ C. End user is advised to experimentally determine temperature and time best suited for individual applications.

**STORAGE:** Shelf life: 2 months at 25 $^{\circ}$ C; or 6 months at 5 $^{\circ}$ C; or 12 months at -10 $^{\circ}$ C.

**SAFETY & HANDLING:** Use with adequate ventilation. Keep away from sparks and open flames. Avoid prolonged contact with skin and breathing of vapors. Wash with soap and water to remove from skin.

*All technical information is based on data obtained by CMI personnel and is believed to be reliable. No warranty is either expressed or implied with respect to suitability in a particular application or possible infringements on patents.*

REVISION DATE: 11/10/99 REVISION: B



## CREATIVEMATERIALS

Creative Materials, Inc.  
141 Middlesex Road  
Tyngsboro, MA 01879

www.creativematerials.com

ISO 9001 CERTIFIED

T 978.649.4700  
F 978.649.2040

REVISION DATE: 7/6/93  
REVISION: A

### SAFETY DATA

#### IDENTIFICATION:

Product (Trade) Name: THINNER 112-19  
General Chemical Description: Solvent  
Chemical Name: Proprietary

#### INGREDIENTS:

Modified proprietary thinner: 100 % By Weight. TLV: None

#### PHYSICAL DATA:

Boiling Point (°C) > 190  
Vapor Pressure @ 20°C 0.2 mm Hg  
Appearance and Odor Clear liquid, sweet odor  
Specific Gravity (water=1) 1.09  
Solubility in Water (20°C) 5.3%

Vapor Density Not Determined  
Evaporation Rate <0.1

#### FIRE AND EXPLOSION HAZARD DATA

Flashpoint: > 100°C  
Auto-ignition Temp: > 370°C  
Flammability Limits in Air (% VOL): Lower: 0.9, Upper: 8.0  
Extinguishing Media: Water fog, alcohol foam, CO<sub>2</sub> or dry chemical extinguishing media  
Special Firefighting Procedures: Firefighters should be equipped with self-contained breathing apparatus and turnout gear.  
Unusual Fire and Explosive Hazards: Low, when exposed to heat or flames. Can react with oxidizing materials.

#### HAZARD DATA

Effects of Overexposure:  
If inhaled, ingested or absorbed, the liquid or vapor may cause dizziness, drowsiness or fainting. Irritation of the skin, eyes and mucous membrane may result from contact with liquid or vapor.

#### First Aid Procedures:

Eyes - Immediately wash eyes with running water for 15 minutes. Get immediate medical attention.  
Skin - Wash affected areas with water while removing contaminated clothing. Get immediate medical attention. Launder contaminated clothing before reuse.  
Ingestion - If swallowed, DO NOT INDUCE VOMITING. Dilute with water or milk and call a physician immediately. Never give fluids or induce vomiting if the victim is unconscious or having convulsions.  
Inhalation - Move to fresh air. Aid in breathing, if necessary, and get immediate medical attention.

#### TOXICITY DATA

Stability: Stable  
Incompatibility: Oxidizing agents, strong acids or bases.  
Hazardous Decomposition Products: May include toxic oxide of carbon.  
Hazardous Polymerization: Does not occur  
Conditions To Avoid: Open flames, heat and direct sunlight  
Corrosive To Metal: No  
Oxidizer: No

#### PROTECTION

Respiratory Protection: Approved organic vapor respirator  
Eye Protection: Chemical goggles  
Protective Clothing: Gloves, coveralls, apron, boots as necessary to prevent skin contact.  
Ventilation: Use local exhaust to control to recommended P.E.L.  
Other: n/a

#### LEAK PROCEDURES

is should be contained, solidified, and placed in suitable containers for disposal.

#### DISPOSAL METHOD

nerate or bury in a licensed facility. Do not discharge into waterways or sewer systems.

#### WG DATA

D.O.T. Proper Shipping Name: Dibasic Ester Mixture  
D.O.T. Hazard Classification: Not Regulated  
Hazardous Substance (49CFR CERCLA List): No  
D.O.T. Placards Required: None

best of our knowledge, the information contained herein is accurate and meets all State and Federal is. However, Creative Materials Inc. does not assume any liability whatsoever for the accuracy or mess of the information contained herein. All materials may present unknown hazards and should be used don. Although certain hazards are described herein, we cannot guarantee that these are the only hazards list. Final determination of the suitability of any material is the sole responsibility of the user.





## CREATIVEMATERIALS

Creative Materials, Inc.  
141 Middlesex Road  
Tyngsboro, MA 01879

www.creativematerials.com

ISO 9001 CERTIFIED

T 978.649.4700  
F 978.649.2040

REVISION DATE: 7/6/93  
REVISION: A

### SAFETY DATA

#### IDENTIFICATION:

Product (Trade) Name:	THINNER 112-19
General Chemical Description:	Solvent
Chemical Name:	Proprietary

#### INGREDIENTS:

Modified proprietary thinner: 100 % By Weight. TLV: None

#### PHYSICAL DATA:

Boiling Point (°C)	> 190
Vapor Pressure @ 20°C	0.2 mm Hg
Appearance and Odor	Clear liquid, sweet odor
Specific Gravity (water=1)	1.09
Solubility in Water (20°C)	5.3%
Vapor Density	Not Determined
Evaporation Rate	<0.1

#### FIRE AND EXPLOSION HAZARD DATA

Flashpoint:	> 100°C
Auto-ignition Temp:	> 370°C
Flammability Limits In Air (% VOL):	Lower: 0.9; Upper: 8.0
Extinguishing Media:	Water fog, alcohol foam, CO <sub>2</sub> or dry chemical extinguishing media
Special Firefighting Procedures:	Firefighters should be equipped with self-contained breathing apparatus and turnout gear.
Unusual Fire and Explosive Hazards:	Low, when exposed to heat or flames. Can react with oxidizing materials.

## SUŠÁRNA MEMMERT

Název přístroje:

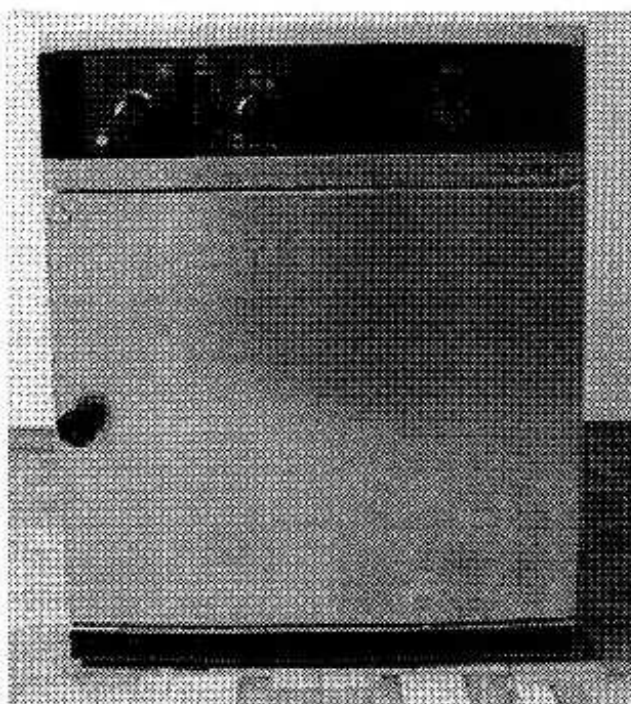
Sušárna ULE 400

Popis přístroje:

Elektronicky regulovaná sušárna

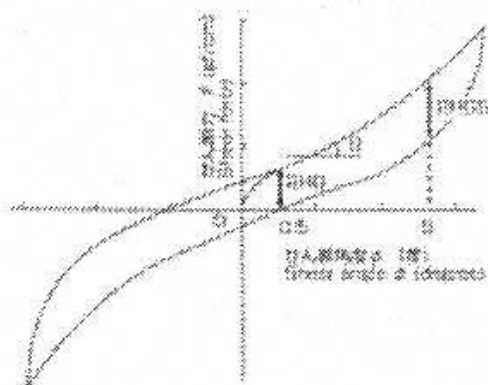
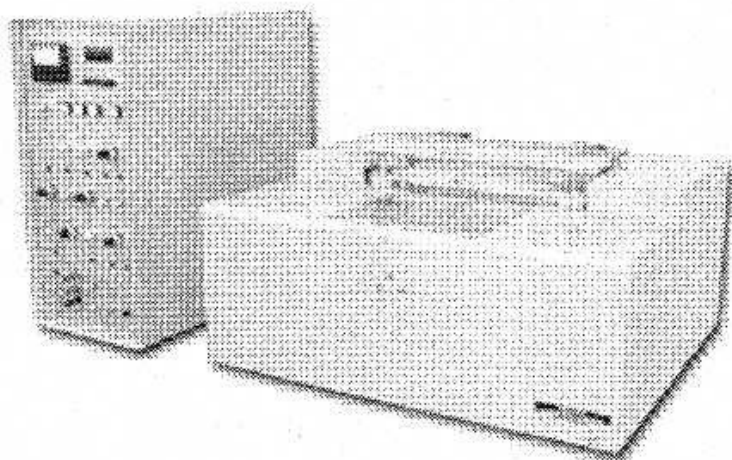
Parametry:

objem 53 l, nastavitelný teplotní rozsah 20-200 °C



# **AUTOMATIC TENSILE & SHEAR TESTER-KES-FB1**

Přístroj je nový automatický model pro testování tahových a smykových vlastností textilií, papíru, netkaných textilií a fólií.



## Příloha 5

Sample No: 1-1  
Comment:  
Log Date: 2006.02.21  
Note:

Sens.: Optional	
Directions: WARP	
Repetition: 1	
Conditions:	
Sample: Fabrics	Films
SENS: 6 x 6	
Velocity: 0.2 mm/sec	
Elongation: 25 mm/10V	
Camp Wk: 5.0 cm	
Process: Standard	
Sample W: 13 cm	
Medium: 1	500 0 g/l

### Calc. Results

[illegible]

# Příloha 6

Sample No. 111  
Command  
Log Date: 01/04/2009  
Name

Core: Optional  
Direction: WARP  
Repetition: 4  
Conditions  
Sample: Falsche, Fine  
Sensitivity: 20  
Notes: max one cycle  
Sample W: 0.0m  
Bending at 7.5. 0mm

Dec Results (B=0.05, R=0.15, Z=0.10)

B-P=0.05, B-MEAN=0, B-MEAN=0, ZHS-PLUG, ZHS-MINU, ZHS-MEAN, x10-2 N mm

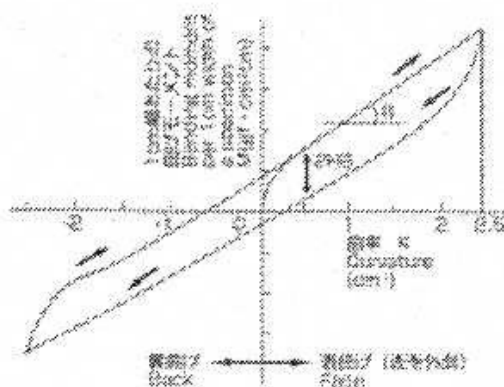
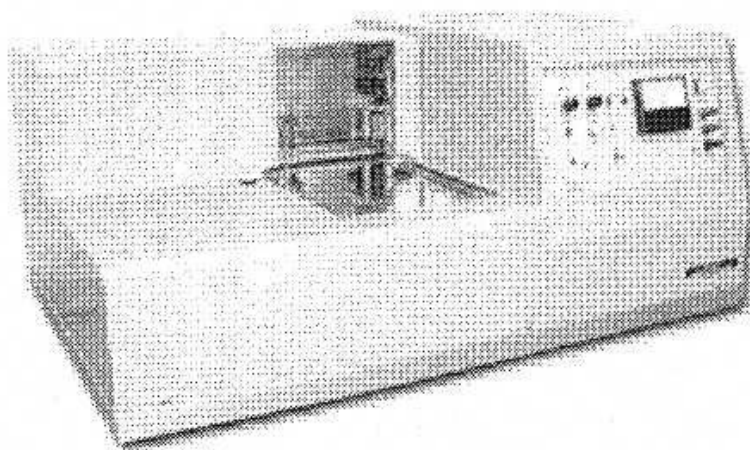
WERT 0.0001 0.0100 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000  
MEAN 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000

Sampling Interval Total  
Bending in Load(Y1) Bending in Load(Y2) x10-2 N mm

1	0.01	0.000	0	0		
2	0.05	0.075	0	0		
3	0.05	0.077	0	0		
4	0.13	0.07	0	0		
5	0.15	0.088	0	0		
6	0.22	0.079	0	0		
7	0.25	0.075	0	0		
8	0.33	0.088	0	0		
9	0.57	0.027	0	0		
10	0.42	0.12	0	0		
11	0.41	0.138	0	0		
12	0.51	0.107	0	0		
13	0.57	0.082	0	0		
14	0.62	0.107	0	0		
15	0.66	0.109	0	0		
16	0.74	0.217	0	0		
17	0.75	0.233	0	0		
18	0.81	0.267	0	0		
19	0.85	0.301	0	0		
20	0.81	0.295	0	0		
21	0.85	0.291	0	0		
22	1.01	0.318	0	0		
23	1.05	0.333	0	0		
24	1.1	0.368	0	0		
25	1.15	0.388	0	0		
26	1.2	0.374	0	0		
27	1.25	0.4	0	0		
28	1.3	0.412	0	0		
29	1.35	0.424	0	0		
30	1.41	0.444	0	0		
31	1.45	0.489	0	0		
32	1.5	0.47	0	0		
33	1.55	0.507	0	0		
34	1.61	0.508	0	0		
35	1.65	0.530	0	0		
36	1.72	0.558	0	0		
37	1.75	0.569	0	0		
38	1.82	0.597	0	0		
39	1.87	0.517	0	0		
40	1.91	0.521	0	0		
41	1.93	0.55	0	0		
42	2.02	0.607	0	0		
43	2.05	0.603	0	0		
44	2.14	0.7	0	0		
45	2.15	0.708	0	0		
46	2.25	0.735	0	0		
47	2.21	0.744	0	0		
48	2.35	0.788	0	0		
49	2.4	0.757	0	0		
50	2.41	0.897	0	0		
51	2.37	0.848	0	0		
52	2.32	0.838	0	0		
53	2.37	0.517	0	0		
54	2.31	0.517	0	0		
55	2.12	0.518	0	0		
56	2.05	0.694	0	0		
57	2.04	0.66	0	0		
58	1.95	0.615	0	0		
59	1.92	0.377	0	0		
60	1.88	0.381	0	0		
61	1.84	0.235	0	0		
62	1.75	0.211	0	0		
63	1.73	0.234	0	0		
64	1.61	0.28	0	0		
65	1.62	0.243	0	0		
66	1.57	0.221	0	0		
67	1.52	0.195	0	0		
68	1.47	0.182	0	0		
69	1.42	0.184	0	0		
70	1.37	0.142	0	0		
71	1.32	0.127	0	0		
72	1.27	0.108	0	0		
73	1.22	0.09	0	0		
74	1.17	0.088	0	0		
75	1.12	0.088	0	0		
76	1.07	0.059	0	0		
77	1.05	0.051	0	0		
78	0.98	0.034	0	0		
79	0.85	0.015	0	0		
80	0.88	0.004	0	0		
81	0.82	-0.02	0	0		
82	0.75	-0.022	0	0		
83	0.72	-0.048	0	0		
84	0.68	-0.052	0	0		
85	0.62	-0.063	0	0		
86	0.55	-0.077	0	0		
87	0.54	-0.085	0	0		
88	0.45	-0.099	0	0		
89	0.44	-0.11	0	0		
90	0.39	-0.116	0	0		
91	0.34	-0.136	0	0		
92	0.25	-0.144	0	0		
93	0.24	-0.158	0	0		
94	0.19	-0.175	0	0		
95	0.15	-0.18	0	0		
96	0.1	-0.19	0	0		
97	0.05	-0.214	0	0		
98	0	-0.221	0	0		
99	-0.05	-0.234	0	0		
100	-0.1	-0.238	0	0		
101	-0.15	-0.247	0	0		
102	-0.2	-0.259	0	0		
103	-0.24	-0.274	0	0		
104	-0.25	-0.282	0	0		
105	-0.34	-0.319	0	0		
106	-0.35	-0.318	0	0		
107	-0.44	-0.357	0	0		
108	-0.45	-0.368	0	0		
109	-0.51	-0.382	0	0		
110	-0.52	-0.397	0	0		
111	-0.57	-0.411	0	0		
112	-0.62	-0.425	0	0		
113	-0.67	-0.439	0	0		
114	-0.72	-0.453	0	0		
115	-0.77	-0.467	0	0		
116	-0.82	-0.481	0	0		
117	-0.87	-0.495	0	0		
118	-0.92	-0.509	0	0		
119	-0.97	-0.523	0	0		
120	-1.02	-0.537	0	0		
121	-1.07	-0.551	0	0		
122	-1.12	-0.565	0	0		
123	-1.17	-0.579	0	0		
124	-1.22	-0.593	0	0		
125	-1.27	-0.607	0	0		
126	-1.32	-0.621	0	0		
127	-1.37	-0.635	0	0		
128	-1.42	-0.649	0	0		
129	-1.47	-0.663	0	0		
130	-1.52	-0.677	0	0		
131	-1.57	-0.691	0	0		
132	-1.62	-0.705	0	0		
133	-1.67	-0.719	0	0		
134	-1.72	-0.733	0	0		
135	-1.77	-0.747	0	0		
136	-1.82	-0.761	0	0		
137	-1.87	-0.775	0	0		
138	-1.92	-0.789	0	0		
139	-1.97	-0.803	0	0		
140	-2.02	-0.817	0	0		
141	-2.07	-0.831	0	0		
142	-2.12	-0.845	0	0		
143	-2.17	-0.859	0	0		
144	-2.22	-0.873	0	0		
145	-2.27	-0.887	0	0		
146	-2.32	-0.901	0	0		
147	-2.37	-0.915	0	0		
148	-2.42	-0.929	0	0		
149	-2.47	-0.943	0	0		
150	-2.52	-0.957	0	0		
151	-2.57	-0.971	0	0		
152	-2.62	-0.985	0	0		
153	-2.67	-0.999	0	0		
154	-2.72	-1.013	0	0		
155	-2.77	-1.027	0	0		
156	-2.82	-1.041	0	0		
157	-2.87	-1.055	0	0		
158	-2.92	-1.069	0	0		
159	-2.97	-1.083	0	0		
160	-3.02	-1.097	0	0		
161	-3.07	-1.111	0	0		
162	-3.12	-1.125	0	0		
163	-3.17	-1.139	0	0		
164	-3.22	-1.153	0	0		
165	-3.27	-1.167	0	0		
166	-3.32	-1.181	0	0		
167	-3.37	-1.195	0	0		
168	-3.42	-1.209	0	0		
169	-3.47	-1.223	0	0		
170	-3.52	-1.237	0	0		
171	-3.57	-1.251	0	0		
172	-3.62	-1.265	0	0		
173	-3.67	-1.279	0	0		
174	-3.72	-1.293	0	0		
175	-3.77	-1.307	0	0		
176	-3.82	-1.321	0	0		
177	-3.87	-1.335	0	0		
178	-3.92	-1.349	0	0		
179	-3.97	-1.363	0	0		
180	-4.02	-1.377	0	0		
181	-4.07	-1.391	0	0		
182	-4.12	-1.405	0	0		
183	-4.17	-1.419	0	0		
184	-4.22	-1.433	0	0		
185	-4.27	-1.447	0	0		
186	-4.32	-1.461	0	0		
187	-4.37	-1.475	0	0		
188	-4.42	-1.489	0	0		
189	-4.47	-1.503	0	0		
190	-4.52	-1.517	0	0		
191	-4.57	-1.531	0	0		
192	-4.62	-1.545	0	0		
193	-4.67	-1.559	0	0		
194	-4.72	-1.573	0	0		
195	-4.77	-1.587	0	0		
196	-4.82	-1.601	0	0		
197	-4.87	-1.615	0	0		
198	-4.92	-1.629	0	0		
199	-4.97	-1.643	0	0		
200	-5.02	-1.657	0	0		

# **AUTOMATIC PURE BENDING TESTER - KES-FB2**

Přístroj je nový automatický model pro testování ohybových vlastností (ohybová tuhost, ohybový moment) textilií, netkaných textilií, přízí.



## Příloha 8

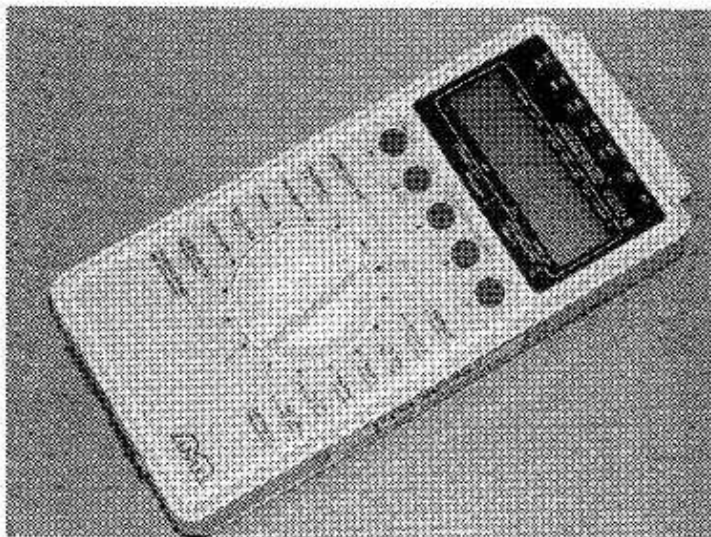
## 25.2. Technická data

		KBWF 240	KBWF 720
<b>vnější rozměry</b>			
šířka	mm	1034	1234
výška	mm	1370	1816
hloubka	mm	745	865
vzdálenost ode zdi vzadu		mm	100
vzdálenost ode zdi zboku		mm	160
objem parního prostoru		l	308
výška přípojek vody		± 3 mm	84
vzdálenost od stropu		mm	100
<b>vnitřní rozměry</b>			
šířka	mm	800	1000
výška	mm	600	1200
hloubka	mm	500	600
vnitřní objem	l	240	720
počet polic	standard / max.	2/7	2/14
zatížení police	kg	30	45
povolené celkové zatížení	kg	70	120
hmotnost (bez náplně)	kg	184	345
<b>rozsah teplot</b>			
s osvětlením	°C	-5-100,0	-5-100,0
s vlhčením a osvětlením	ca. °C	10 - 90	10 - 90
prostorové kolísání teploty			
bez vlhčení při 10°C	± °C	0,4	0,4
bez vlhčení při 37°C	± °C	0,4	0,4
prostorové kolísání teploty s vlhčením	± °C	1,0	1,0
kolísání teploty během ohřevu	± °C	0,1	0,1
kolísání teploty během chlazení	± °C	0,5	0,5
doba zahřívání na 37°C 1)	min	30	28
doba ochlazování z pokojové teploty na 10°C 1)2)	min	35	35
doba obnovy podmínek při 37°C po otevření dveří na 30 s 1)	min	5	5
doba obnovy podmínek při 50°C po otevření dveří na 30 s 1)	min	4	4
IP systém ochrany podle EN 50529		20	20
jmenovité napětí ( 10%), 50/60 Hz	V	230	230
jmenovitý příkon	W	2420	2950
kategorie přepětí podle IEC 1010-1		II	II
stupeň znečištění podle IEC 1010-1		2	2
pojistka	A	16	16
spotřeba energie při 37°C 5)	W	730	970
počet dveří	počet	2	2
počet vnitřních skleněných dveří	počet	2	2

Fisher Scientific, spol. s r.o., Kosmonautů 324, 530 09 Pardubice  
tel.: +420-466 435 001, fax: +420-466 435 008, e-mail: info@fishersci.cz

## ÚSTŘEDNA MALÁ ALMEMO 2290-8 HIM 302175

Univerzální měřicí ústředna s různými typy senzorů, výrobce AHLBORN



**Princip ALMEMO :** Přístroje ALMEMO jsou univerzálně použitelné. Pro všechny senzory stačí pouze jeden přístroj. Přitom není nutné provádět přeprogramování přístroje, protože k jeho automatické konfiguraci dochází po připojení konektoru.

Všechny přístroje disponují jedním zapojením vstupních obvodů. Pro různá použití v rozličných oborech je k dispozici více než 60 standardních měřících postupů, např. pro měření teploty, vlhkosti, proudění, průtoku, postupu tepla, tlaku, otáček, frekvence, odporu, proudu, napětí, síly, dráhy, hodnoty pH, potenciálu Redox, vodivosti,  $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $CO$ ,  $O_3$ , atd.

Přístroje ALMEMO automaticky rozpoznávají poznávací data připojených čidel a lze k nim připojit jakoukoliv periferní jednotku.

### Vstupy :

#### **Přepínání kanálů mezi vstupními zdířkami :**

4-polohový s fotorelé  
Oddělení potenciálů : max 50V  
Offsetové napětí : < 5 mV

#### **Napájení čidel :**

7,2 V ... 12 V nezávislé na proudovém napájení max. 50 mV/přístroj

#### **Měřicí proud Pt-100 :**

cca 1 mA



**Diferenční zesilovač :**

1x, 2x, 5x, 10x, 20x, 40x a 100x

**Vstupní impedance :**

50 MOhm

**Převodník A/D:**

Multi Slope integrovaný, rozlišení 16 bit

**Rychlost měření :**

2,5 nebo 10 měření za vteřinu

**Vlastní kalibrace :**

Automatická korekce na nulový bod, kalibrace měř. Proudů

**Systémová přesnost :**

$\pm 0,03 \%$  z měř. Hodnoty,  $\pm 2$  digity (při 2,5 měření/vteřinu)

**Teplotní drift :**

$0,005 \%$  /  $^{\circ}\text{C}$

**Jmenovitá teplota :**

$22^{\circ}\text{C} \pm 2 \text{ K}$

**Kompensace srov. bodu :**

Funkční v rozsahu  $-30 \dots + 100^{\circ}\text{C}$

Přesnost  $\pm 0,2 \text{ K} \pm 0,01 \text{ K}/^{\circ}\text{C}$

**Kontrolní funkce :**

Automatické rozpoznání chyby nebo přerušení vinou chyby

**Měřicí přístroj :**

Rozhraní pro všechny ALMEMO –konektory/-moduly I<sup>2</sup>C – Bus

Rozsah pracovních teplot :  $-10$  až  $+ 60^{\circ}\text{C}$

Skladovací teplota :  $-30$  až  $+ 60^{\circ}\text{C}$

Okolní vlhkost : 10 až 90 %

## HHM290

Nová generace SUPERMETER™ s laserovým zaměřováním pro bezdotykové měření teploty



- ☐ Zabudovaný bezkontaktní infra-teploměr s patentově chráněným laserovým kruhovým zaměřováním
- ☐ Digitální nastavování hodnoty emisivity od 0,1 po 1,00 s krokem 0,01
- ☐ Použitá optika 10:1 (poměr vzdálenosti k měřené ploše)
- ☐ Vysoký výkon, odolné provedení, dobře čitelný podsvícený LCD displej
- ☐ Možnost připojení dvou termočlánků typu K a možnost zobrazení teploty (T1 a T2) nebo teplotního rozdílu (T1-T2)
- ☐ Plně funkční multimetr umožňující záznam Min, Max i průměrné měřené hodnoty
- ☐ Měření napětí, proudu, odporu, kapacity, indukčnosti a frekvence
- ☐ Zabudováno testování diod a logických obvodů
- ☐ Bateriové napájení i možnost napájení pomocí síťového adaptéru
- ☐ Automatické vypnutí přístroje, pokud není déle používán
- ☐ Součástí přístroje je gumový ochranný kryt a uchycení pro stativ

Model HHM290 v sobě slučuje funkce digitálního multimetru i teploměru. Přístroj má zabudován infra-senzor pro bezdotykové měření teploty a kruhový laserový zaměřovač. Dále je vybaven optikou 10:1. Multimetr měří a zobrazuje napětí, proud, rezistenci, indukčnost, kapacitanci a frekvenci. Rovněž má dva termočlánkové vstupy typu K pro dotykové měření teploty. Zvláštní funkce zahrnují měření rozdílu teplot T1-T2, měření minimální, maximální a průměrné hodnoty, manuální/automatické přepínání měřících rozsahů a zabudovaný časovač.

## SPECIFIKACE

### Základní parametry

**Pracovní teplota:** 0 až 50 °C

**Napájení:** 6x 1,5 Vdc baterie AA nebo  
síťový adaptér 9 Vdc/200 mA

**Displej:** dvojitý podsvícený LCD

**Indikace vybití baterií:** ikonou na  
displeji

**Životnost baterií:** 100 hod  
normálního provozu, bez používání  
laseru a podsvícení displeje

**Uchycení pro stativ:** 1/4"-20 UNC

**Rozměry:** 203x101x51 mm

**Hmotnost:** 640 g

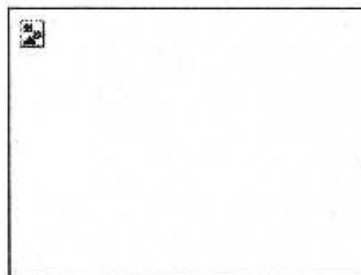
### Termočlánkový vstup

**Typ termočlánku:** dva termočlánky K

**Displej:** T1, T2 nebo T1-T2

**Přesnost:** 2% ze čtené hodnoty

**Měřicí rozsah:** -40 až +1315 °C



### Bezdotykové měření teploty

**Měřicí rozsah:** -18 až 538 °C

< 22 při >2% z měřené hodnoty  
(podle toho, která hodnota je větší)

**Rozlišení:** 1 °C

**Optika:** 10 : 1

**Spektrální pásmo:** 8 až 14 mikronů

**Emisivita:** nastavitelná od 0,10 až  
1,00

**Doba odezvy:** méně než 1 sek

### Laserový zaměřovač

**Vlnová délka (barva):** 630 - 700 nm,  
(červená)

**Maximální optický výkon:** <5 mW,  
laserová třída IIIa

**Pracovní vzdálenosti:**

bodový laserový zaměřovač - až 23 m,  
kruhový laserový zaměřovač 7,6 m

**Indikace aktivace laserového  
zaměřovače:**

ikona na displeji

### Stejnoseměrné napětí

**Rozsah:** 430 mV až

1000 V

**Přesnost:** 0,25 % ze  
čtené hodnoty + 1 digit

### Stejnoseměrný proud

**Rozsah:** 430 uA až 10 A

**Přesnost:**

0,5 % ze čtené hodnoty  
+ 1 digit (až do 43 mA)

2% ze čtené hodnoty + 1  
digit (až do 10 A)

### Střídavé napětí:

**Rozsah:** 430 mVstř.

až 750 Vstř.

**Přesnost:** 1% ze  
čtené hodnoty + 2  
digit

### Střídavý proud

**Rozsah:** 430 uA až  
10 A

**Přesnost:**

1 % ze čtené hodnoty  
+ 2 digit (až do 43  
mA)

2,5 % ze čtené  
hodnoty + 2 digit  
(až do 10 A)

### Rezistence

**Rozsah:** až 43 megaohmů

**Přesnost:** 0,3 % ze čtené  
hodnoty + 3 digit (až do 4,3  
megaohmů)

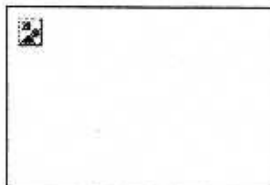
### Frekvence

**Rozsah:** až 4.3 MHz

### Kapacitance

**Rozsah:** 4.3 nF až 430 uF

**Přesnost:** 5% ze čtené  
hodnoty + 10 digitů



Velký LCD displej!

VZOREK KLÁVESNICE

